

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-071514

(43)Date of publication of application : 08.03.2002

(51)Int.Cl.

G01M 11/02

G01B 11/24

G03F 7/20

H01L 21/027

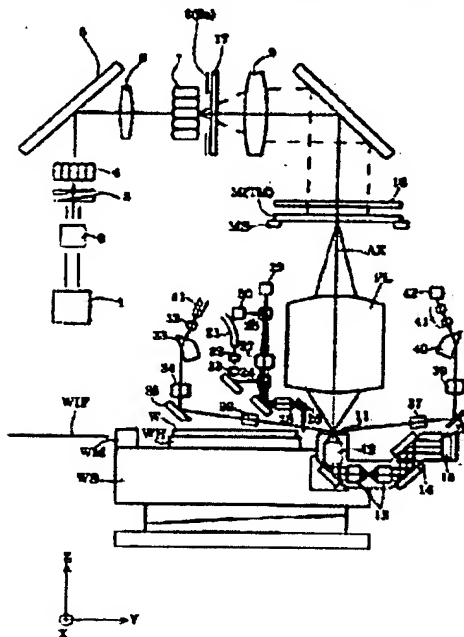
(21)Application number : 2000-258085

(71)Applicant : NIKON CORP

(22)Date of filing : 28.08.2000

(72)Inventor : NAGAYAMA TADASHI

## (54) INSPECTION APPARATUS, EXPOSURE APPARATUS PROVIDED WITH THE INSPECTION APPARATUS AND PRODUCTION METHOD OF MICRO DEVICE



(57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide an inspection apparatus capable of accurately measuring an aberration based on sufficient measurement light quantity without using a very small pin hole for generating a spherical wave.

**SOLUTION:** The inspection apparatus is for measuring wavefront aberration of an optical system to be inspected (PL). Illumination units (1 to 9, 16) for illuminating opening (TM) positioned on an object surface of the optical system to be inspected (PL) with the number of openings over the opening number on the object side of the optical system to be inspected (PL), wavefront separating elements (14) for separating light from a primary image of the opening formed on the image surface of the optical system to be inspected with the wavefront and forming a multitude of the secondary images of the openings and a photoelectric detector (15) for photoelectrically

detecting a multitude of the secondary images formed with the wavefront separating elements are provided.

\* NOTICES \*

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.

2.\*\*\*\*\* shows the word which can not be translated.

3.In the drawings, any words are not translated.

---

## CLAIMS

---

[Claim(s)]

[Claim 1]A lighting unit for illuminating an opening positioned in an object face of said test optical system with a numerical aperture more than the object side numerical aperture of said test optical system in test equipment for measuring a wavefront aberration of a test optical system, Test equipment provided with a photoelectric detection part for carrying out photoelectric detection of the secondary image of said large number formed of a wavefront-splitting element and said wavefront-splitting element for carrying out wavefront splitting of the light from a primary image of said opening formed in the image surface of said test optical system, and forming many secondary images of said opening.

[Claim 2]The test equipment according to claim 1, wherein said lighting unit has a numerical aperture magnification means for expanding a numerical aperture of light flux from an illumination system and this illumination system for supplying illumination light to said opening.

[Claim 3]The test equipment according to claim 2, wherein said numerical aperture magnification means has a diffused-light study member for being arranged enabling free insertion and detachment and diffusing light flux in an optical path between said illumination system and an object face of said test optical system.

[Claim 4]The test equipment according to claim 3, wherein said numerical aperture magnification means has a luminance property equalization means for equalizing the luminance property of illumination luminous flux worsening by said diffused-light study member.

[Claim 5]In an exposure device provided with a projection optical system for forming a pattern image of an illuminated mask on a photosensitive substrate, An exposure device equipping any 1 paragraph of Claims 2-4 with test equipment of a description, and said illumination system in said test equipment being able to illuminate said mask, and measuring a wavefront aberration with said test equipment by using said projection optical system as said test optical system.

[Claim 6]Test equipment provided with a container reference plate attached to an aberration system of measurement and said aberration system of measurement for measuring a wavefront aberration of a test optical system in one, and a position detection system for detecting a position of said container reference plate.

[Claim 7]The test equipment according to claim 6, wherein said position detection system has the 1st detection system for detecting a position of said aberration system of measurement along a field vertical to an optic axis of said test optical system, and the 2nd detection system for detecting a position of said aberration system of measurement along an optical axis direction of said test optical system.

[Claim 8]Said container reference plate has a base plane vertical to an optic axis of said aberration system of measurement, is formed by an alignment mark and reflector on this base plane, and said 1st detection system, Detect a position of said aberration system of measurement which met said base plane based on said alignment mark, and said 2nd detection system, The test equipment according to claim 7 detecting a

position of said aberration system of measurement which met a normal line direction of said base plane based on light flux which entered light flux in said reflector from an oblique direction, and was reflected in said reflector.

[Claim 9]The test equipment according to claim 6, wherein said container reference plate has a base plane vertical to an optic axis of said aberration system of measurement and either an alignment mark or the reflectors are formed on this base plane.

[Claim 10]With a numerical aperture more than the object side numerical aperture of said test optical system, have further a lighting unit for illuminating an opening positioned in an object face of said test optical system, and said aberration system of measurement, A wavefront-splitting element for carrying out wavefront splitting of the light from a primary image of said opening formed in the image surface of said test optical system, and forming many secondary images of said opening, Test equipment given in any 1 paragraph of Claims 6-9 having a photoelectric detection part for carrying out photoelectric detection of the secondary image of said large number formed of this wavefront-splitting element.

[Claim 11]Have said container reference plate and a base plane vertical to an optic axis of said aberration system of measurement said aberration system of measurement, A wavefront-splitting element for carrying out wavefront splitting of the light from a primary image of an opening formed in the image surface of said test optical system, and forming many secondary images of said opening, It has a photoelectric detection part for carrying out photoelectric detection of the secondary image of said large number formed of this wavefront-splitting element, Test equipment given in any 1 paragraph of Claims 6-10, wherein an opening for proofreading for said base plane being arranged at a detecting face of said photoelectric detection part and an optical almost conjugate position, measuring an error of said aberration system of measurement on said base plane, and proofreading said aberration system of measurement is formed.

[Claim 12]The test equipment according to claim 11, wherein said opening for proofreading is substantially set up greatly rather than a primary image of said opening formed on said base plane.

[Claim 13]An exposure device equipping any 1 paragraph of Claims 6-12 with test equipment of a description, and measuring a wavefront aberration with said test equipment in an exposure device provided with a projection optical system for forming a pattern image of an illuminated mask on a photosensitive substrate by using said projection optical system as said test optical system.

[Claim 14]In an exposure device provided with a projection optical system for forming a pattern image of an illuminated mask on a photosensitive substrate, An exposure device, wherein it has the test equipment according to claim 7 or 8 for measuring a wavefront aberration by using said projection optical system as said test optical system and said 2nd detection system detects a position of said photosensitive substrate along an optical axis direction of said projection optical system.

[Claim 15]In an exposure device provided with a projection optical system for forming a pattern image of an illuminated mask on a photosensitive substrate, An exposure device which equips any 1 paragraph of Claims 10-12 for measuring a wavefront aberration by using said projection optical system as said test optical system with test equipment of a description, and is characterized by the ability of said lighting unit in said test equipment to illuminate said mask.

[Claim 16]In test equipment for measuring a wavefront aberration of a test optical system using an aberration system of measurement, Test equipment characterized by amending an output of said aberration

system of measurement about said test optical system based on error information which was provided with an error measuring means for measuring an error of said aberration system of measurement, and was measured by said error measuring means.

[Claim 17] A wavefront-splitting element for said aberration system of measurement carrying out wavefront splitting of the light from a predetermined side, and forming many images of said predetermined side, Have a photoelectric detection part for carrying out photoelectric detection of the image of said large number formed of this wavefront-splitting element, and said error measuring means, The test equipment according to claim 16 measuring an error of said aberration system of measurement based on many images of said opening for proofreading which has the opening for proofreading formed near said predetermined side, illuminated said opening for proofreading by light through said test optical system, and was formed of said wavefront-splitting element.

[Claim 18] Test equipment having a unit for memorizing an error of said aberration system of measurement in test equipment for measuring a wavefront aberration of a test optical system using an aberration system of measurement, and amending an output of said aberration system of measurement about said test optical system based on error information from said unit.

[Claim 19] In an exposure device provided with an illumination system for illuminating a mask, and a projection optical system for forming a pattern image of said mask on a photosensitive substrate, An exposure device equipping any 1 paragraph of Claims 16–18 with test equipment of a description, and measuring a wavefront aberration with said test equipment by using said projection optical system as said test optical system.

[Claim 20] Claim 5 characterized by adjusting the optical property of said projection optical system based on a measurement result by said test equipment, an exposure device given in any 1 paragraph of 13–15, and 19.

[Claim 21] A manufacturing method of a micro device including Claim 5, an exposure process which exposes a pattern of said mask on said photosensitive substrate using an exposure device of a description in any 1 paragraph of 13–15, 19, and 20, and a developing process which develops said photosensitive substrate exposed by this exposure process.

[Claim 22] In an inspection method which measures a wavefront aberration of a test optical system using an aberration system of measurement, An error measuring process which measures an error of said aberration system of measurement, and an aberration measuring process which measures a wavefront aberration of said test optical system using said aberration system of measurement, An inspection method including a correcting process which amends aberration measured value of said test optical system obtained by said aberration measuring process based on error information measured by said error measuring process.

[Claim 23] The inspection method according to claim 22 predicting change of an error which measures an error of said aberration system of measurement in predetermined environment, and originates in change of said environment in said error measuring process based on this error of measurement.

[Claim 24] An auxiliary process of said aberration measuring process carrying out wavefront splitting of the light from a predetermined side, and forming many images of said predetermined side, An image of said large number formed of wavefront splitting including an auxiliary process which carries out photoelectric detection said error measuring process, An auxiliary process of positioning and illuminating an opening to said predetermined side, and an auxiliary process of carrying out wavefront splitting of the light from said

opening, and forming many images, The inspection method according to claim 22 or 23 including an auxiliary process of measuring an error of said aberration system of measurement based on an image of said large number formed of wavefront splitting.

[Claim 25]An auxiliary process of said aberration measuring process carrying out wavefront splitting of the light from a predetermined side, and forming many images of said predetermined side, An image of said large number formed of wavefront splitting including an auxiliary process which carries out photoelectric detection said error measuring process, An auxiliary process which generates a spherical wave by positioning and illuminating a pinhole to said predetermined side or its neighborhood, The inspection method according to claim 22 or 23 including an auxiliary process of carrying out wavefront splitting of this spherical wave, and forming many images, and an auxiliary process of measuring an error of said aberration system of measurement based on an image of said large number formed of wavefront splitting.

[Claim 26]An auxiliary process of said aberration measuring process carrying out wavefront splitting of the light from a predetermined side, and forming many images of said predetermined side, An image of said large number formed of wavefront splitting including an auxiliary process which carries out photoelectric detection said error measuring process, An auxiliary process of illuminating an opening for proofreading positioned near [ said ] the predetermined side, The inspection method according to claim 22 or 23 including an auxiliary process of carrying out wavefront splitting of the light from this opening for proofreading, and forming many images, and an auxiliary process of measuring an error of said aberration system of measurement based on an image of said large number formed of wavefront splitting.

[Claim 27]In an exposure method which carries out projection exposure of the pattern image of a mask on a photosensitive substrate via a projection optical system, A wavefront aberration of said projection optical system is measured with an inspection method of a description in any 1 paragraph of Claims 22–26 by using said projection optical system as said test optical system, An exposure method including an adjusting process which adjusts said projection optical system based on a wavefront aberration of said projection optical system amended by said correcting process.

[Claim 28]The exposure method according to claim 27 predicting change of an error which measures an error in either [ at least ] predetermined atmospheric pressure or the predetermined wavelength, and originates in at least one change of atmospheric pressure and the wavelength in said error measuring process based on a measured error.

[Claim 29]The exposure method according to claim 27 or 28 predicting change of an error which originates in change of temperature based on two or more errors which measured and measured an error on two or more temperature conditions in said error measuring process.

[Claim 30]A manufacturing method of a micro device including an exposure process which exposes a pattern of said mask on said photosensitive substrate using an exposure method of a description in any 1 paragraph of Claims 27–29, and a developing process which develops said photosensitive substrate exposed by this exposure process.

---

## DETAILED DESCRIPTION

---

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] This invention relates to test equipment, the exposure device provided with this test equipment, and the manufacturing method of a micro device. Especially this invention relates to measurement of the wavefront aberration of the projection optical system carried in the exposure device for manufacturing micro devices, such as a semiconductor device, an image sensor, a liquid crystal display element, or a thin film magnetic head, by a lithography step.

[0002]

[Description of the Prior Art] When manufacturing a semiconductor device etc. by a photolithography process, the exposure device which carries out projection exposure of the pattern image of a mask to photosensitive substrates (a wafer, a glass substrate, a plate, etc.) is used. In this kind of exposure device, in order to project a mask pattern image on a photosensitive substrate faithfully with high resolution, the projection optical system in which several aberration has the fully controlled good optical performance is designed.

[0003] However, unlike design optical performance, in the projection optical system of the actually manufactured exposure device, several aberration resulting from various factors remains. Then, various devices for measuring conventionally the aberration which remains in a test optical system like a projection optical system carried in the exposure device are proposed. For example, the aberration measuring device which measures the wavefront aberration of a test optical system based on the spherical wave which the International-Publication WO 99/No. 60361 gazette was made to generate using the minimum pinhole is indicated.

[0004]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] However, in the conventional aberration measuring device indicated by the above-mentioned gazette, there was inconvenience that errors, such as a wavefront aberration which the device itself generates, influenced the aberration measurement result of a test optical system (added). In the conventional aberration measuring device, there was inconvenience that first stage positioning and position control of a device were difficult. In the conventional aberration measuring device, since the pinhole of the byway was used very much in order to generate a spherical wave, there was inconvenience that the amounts of measuring beams ran short remarkably.

[0005] This invention is made in view of above-mentioned SUBJECT, and is a thing.

The purpose is for errors, such as a wavefront aberration to generate, to provide the exposure device provided with the high test equipment and this test equipment of the accuracy of measurement which do not influence the aberration measurement result of a test optical system substantially.

[0006] An object of this invention is to provide the exposure device provided with the test equipment and this test equipment which can perform first stage positioning and position control of an aberration system of measurement promptly and with high precision, and can perform quick and exact aberration measurement by extension.

[0007] An object of this invention is to provide the exposure device provided with the test equipment and this test equipment which can perform highly precise aberration measurement based on sufficient amount

of measuring beams, without using the minimum pinhole for generating a spherical wave.

[0008]An object of this invention is to provide the manufacturing method of a micro device which can manufacture a good micro device by high resolution using the projection optical system adjusted good based on highly precise aberration measurement.

[0009]

[Means for Solving the Problem]In order to solve said SUBJECT, in the 1st invention of this invention. A lighting unit for illuminating an opening positioned in an object face of said test optical system with a numerical aperture more than the object side numerical aperture of said test optical system in test equipment for measuring a wavefront aberration of a test optical system, A wavefront-splitting element for carrying out wavefront splitting of the light from a primary image of said opening formed in the image surface of said test optical system, and forming many secondary images of said opening, Test equipment provided with a photoelectric detection part for carrying out photoelectric detection of the secondary image of said large number formed of said wavefront-splitting element is provided.

[0010]As for said lighting unit, according to the 1st mode of the 1st invention, it is preferred to have a numerical aperture magnification means for expanding a numerical aperture of light flux from an illumination system and this illumination system for supplying illumination light to said opening. As for said numerical aperture magnification means, according to the 2nd mode of the 1st invention, it is preferred to have a diffused-light study member for being arranged enabling free insertion and detachment and diffusing light flux in an optical path between said illumination system and an object face of said test optical system. As for said numerical aperture magnification means, according to the 3rd mode of the 1st invention, it is preferred to have a luminance property equalization means for equalizing the luminance property of illumination luminous flux worsening by said diffused-light study member.

[0011]As for said luminance property equalization means, according to the 4th mode of the 1st invention, it is preferred to have a neutral density filter for being arranged enabling free insertion and detachment and forming light flux of predetermined light intensity distribution into a lighting optical path of said illumination system. As for said luminance property equalization means, according to the 5th mode of the 1st invention, it is preferred to have the surface light source means forming for forming the zona-orbicularis-like surface light source into an optical path of said illumination system at a pupil of said projection optical system and an optical almost conjugate position. As for said wavefront-splitting element, according to the 6th mode of the 1st invention, it is preferred to have a microlens of a large number arranged in two dimensions.

[0012]In an exposure device provided with a projection optical system for forming a pattern image of an illuminated mask on a photosensitive substrate in the 2nd invention of this invention, It has test equipment of the 2nd mode of the 1st invention – the 6th mode, and said illumination system in said test equipment can illuminate said mask, and an exposure device measuring a wavefront aberration with said test equipment by using said projection optical system as said test optical system is provided.

[0013]In the 3rd invention of this invention, test equipment provided with a container reference plate attached to an aberration system of measurement and said aberration system of measurement for measuring a wavefront aberration of a test optical system in one and a position detection system for detecting a position of said container reference plate is provided.

[0014]As for said position detection system, according to the 1st mode of the 3rd invention, it is preferred

to have the 1st detection system for detecting a position of said aberration system of measurement along a field vertical to an optic axis of said test optical system and the 2nd detection system for detecting a position of said aberration system of measurement along an optical axis direction of said test optical system. According to the 2nd mode of the 3rd invention, said container reference plate, Have a base plane vertical to an optic axis of said aberration system of measurement, they are formed by an alignment mark and reflector on this base plane, and said 1st detection system, Detect a position of said aberration system of measurement which met said base plane based on said alignment mark, and said 2nd detection system, It is preferred to detect a position of said aberration system of measurement which met a normal line direction of said base plane based on light flux which entered light flux in said reflector from an oblique direction, and was reflected in said reflector.

[0015]As for said container reference plate, according to the 3rd mode of the 3rd invention, it is preferred that have a base plane vertical to an optic axis of said aberration system of measurement, and either an alignment mark or the reflectors are formed on this base plane. It has further a lighting unit for illuminating an opening positioned in an object face of said test optical system with a numerical aperture more than the object side numerical aperture of said test optical system according to the 4th mode of the 3rd invention, As for said aberration system of measurement, it is preferred to have a photoelectric detection part for carrying out photoelectric detection of the secondary image of said large number formed of a wavefront-splitting element and this wavefront-splitting element for carrying out wavefront splitting of the light from a primary image of said opening formed in the image surface of said test optical system, and forming many secondary images of said opening.

[0016]According to the 5th mode of the 3rd invention, said container reference plate, Have a base plane vertical to an optic axis of said aberration system of measurement, and said aberration system of measurement, A wavefront-splitting element for carrying out wavefront splitting of the light from a primary image of an opening formed in the image surface of said test optical system, and forming many secondary images of said opening, It has a photoelectric detection part for carrying out photoelectric detection of the secondary image of said large number formed of this wavefront-splitting element, It is preferred that an opening for proofreading for said base plane being arranged at a detecting face of said photoelectric detection part and an optical almost conjugate position, measuring an error of said aberration system of measurement on said base plane, and proofreading said aberration system of measurement is formed. As for said opening for proofreading, according to the 6th mode of the 3rd invention, it is more preferred than a primary image of said opening formed on said base plane to be set up greatly substantially.

[0017]In an exposure device provided with a projection optical system for forming a pattern image of an illuminated mask on a photosensitive substrate in the 4th invention of this invention, It has test equipment of the 3rd invention and an exposure device measuring a wavefront aberration with said test equipment by using said projection optical system as said test optical system is provided.

[0018]In an exposure device provided with a projection optical system for forming a pattern image of an illuminated mask on a photosensitive substrate in the 5th invention of this invention, Having test equipment of the 1st mode of the 4th invention for measuring a wavefront aberration by using said projection optical system as said test optical system, or the 2nd mode, said 2nd detection system provides an exposure device detecting a position of said photosensitive substrate along an optical axis direction of said projection



optical system.

[0019]In an exposure device provided with a projection optical system for forming a pattern image of an illuminated mask on a photosensitive substrate in the 6th invention of this invention, Having test equipment of the 4th mode of the 3rd invention for measuring a wavefront aberration by using said projection optical system as said test optical system – the 6th mode, said lighting unit in said test equipment provides an exposure device, wherein it is possible to illuminate said mask.

[0020]As for said lighting unit, according to the 1st mode of the 4th invention and the 6th invention, it is preferred to have a numerical aperture magnification means for expanding a numerical aperture of light flux from an illumination system and this illumination system for supplying illumination light to said opening. As for said numerical aperture magnification means, according to the 2nd mode of the 4th invention and the 6th invention, it is preferred to have a diffused-light study member for being arranged enabling free insertion and detachment and diffusing light flux in an optical path between said illumination system and an object face of said test optical system. As for said numerical aperture magnification means, according to the 3rd mode of the 4th invention and the 6th invention, it is preferred to have a luminance property equalization means for equalizing the luminance property of illumination luminous flux worsening by said diffused-light study member.

[0021]As for said luminance property equalization means, according to the 4th mode of the 4th invention and the 6th invention, it is preferred to have a neutral density filter for being arranged enabling free insertion and detachment and forming light flux of predetermined light intensity distribution into a lighting optical path of said illumination system. As for said luminance property equalization means, according to the 5th mode of the 4th invention and the 6th invention, it is preferred to have the surface light source means forming for forming the zona-orbicularis-like surface light source into an optical path of said illumination system at a pupil of said projection optical system and an optical almost conjugate position.

[0022]In test equipment for measuring a wavefront aberration of a test optical system in the 7th invention of this invention using an aberration system of measurement, It has an error measuring means for measuring an error of said aberration system of measurement, and test equipment amending an output of said aberration system of measurement about said test optical system is provided based on error information measured by said error measuring means.

[0023]According to the 1st mode of the 7th invention, said aberration system of measurement, A wavefront-splitting element for carrying out wavefront splitting of the light from a predetermined side, and forming many images of said predetermined side, Have a photoelectric detection part for carrying out photoelectric detection of the image of said large number formed of this wavefront-splitting element, and said error measuring means, It is preferred to measure an error of said aberration system of measurement based on many images of said opening for proofreading which has the opening for proofreading formed near said predetermined side, illuminated said opening for proofreading by light through said test optical system, and was formed of said wavefront-splitting element.

[0024]In test equipment for measuring a wavefront aberration of a test optical system in the 8th invention of this invention using an aberration system of measurement, It has a unit for memorizing an error of said aberration system of measurement, and test equipment amending an output of said aberration system of measurement about said test optical system is provided based on error information from said unit.

[0025]In an exposure device provided with an illumination system for illuminating a mask, and a projection optical system for forming a pattern image of said mask on a photosensitive substrate in the 9th invention of this invention, It has test equipment of the 7th invention or the 8th invention, and an exposure device measuring a wavefront aberration with said test equipment by using said projection optical system as said test optical system is provided.

[0026]In the 2nd invention, the 4th invention – the 6th invention, and the 9th invention, it is preferred to adjust the optical property of said projection optical system based on a measurement result by said test equipment.

[0027]An exposure process which exposes a pattern of said mask on said photosensitive substrate in the 10th invention of this invention using an exposure device of the 2nd invention, the 4th invention – the 6th invention, and the 9th invention, A manufacturing method of a micro device including a developing process which develops said photosensitive substrate exposed by this exposure process is provided.

[0028]In an inspection method which measures a wavefront aberration of a test optical system in the 11th invention of this invention using an aberration system of measurement, An error measuring process which measures an error of said aberration system of measurement, and an aberration measuring process which measures a wavefront aberration of said test optical system using said aberration system of measurement, An inspection method including a correcting process which amends aberration measured value of said test optical system obtained by said aberration measuring process based on error information measured by said error measuring process is provided.

[0029]According to the 1st mode of the 11th invention, it is preferred to predict change of an error which measures an error of said aberration system of measurement in predetermined environment, and originates in change of said environment in said error measuring process based on this error of measurement.

According to the 2nd mode of the 11th invention, it is preferred to predict change of an error which measures an error in predetermined atmospheric pressure and predetermined wavelength, and originates in change of atmospheric pressure and change of wavelength in said error measuring process based on a measured error. According to the 3rd mode of the 11th invention, it is preferred to predict change of an error which originates in change of temperature based on two or more errors which measured and measured an error on two or more temperature conditions in said error measuring process.

[0030]According to the 4th mode of the 11th invention, said aberration measuring process, An auxiliary process of carrying out wavefront splitting of the light from a predetermined side, and forming many images of said predetermined side, and an image of said large number formed of wavefront splitting including an auxiliary process which carries out photoelectric detection said error measuring process, It is preferred to include an auxiliary process of positioning and illuminating an opening to said predetermined side, an auxiliary process of carrying out wavefront splitting of the light from said opening, and forming many images, and an auxiliary process of measuring an error of said aberration system of measurement based on an image of said large number formed of wavefront splitting.

[0031]According to the 5th mode of the 11th invention, said aberration measuring process, An auxiliary process of carrying out wavefront splitting of the light from a predetermined side, and forming many images of said predetermined side, and an image of said large number formed of wavefront splitting including an auxiliary process which carries out photoelectric detection said error measuring process, An auxiliary

process which generates a spherical wave by positioning and illuminating a pinhole to said predetermined side or its neighborhood, It is preferred to include an auxiliary process of carrying out wavefront splitting of this spherical wave, and forming many images, and an auxiliary process of measuring an error of said aberration system of measurement based on an image of said large number formed of wavefront splitting.

[0032]According to the 6th mode of the 11th invention, said aberration measuring process, An auxiliary process of carrying out wavefront splitting of the light from a predetermined side, and forming many images of said predetermined side, and an image of said large number formed of wavefront splitting including an auxiliary process which carries out photoelectric detection said error measuring process, It is preferred to include an auxiliary process of illuminating an opening for proofreading positioned near [ said ] the predetermined side, an auxiliary process of carrying out wavefront splitting of the light from this opening for proofreading, and forming many images, and an auxiliary process of measuring an error of said aberration system of measurement based on an image of said large number formed of wavefront splitting.

[0033]In an exposure method which carries out projection exposure of the pattern image of a mask on a photosensitive substrate via a projection optical system in the 12th invention of this invention, A wavefront aberration of said projection optical system is measured with an inspection method of the 11th invention by using said projection optical system as said test optical system, and an exposure method including an adjusting process which adjusts said projection optical system based on a wavefront aberration of said projection optical system amended by said correcting process is provided.

[0034]According to the 1st mode of the 12th invention, it is preferred to predict change of an error which measures an error in either [ at least ] predetermined atmospheric pressure or the predetermined wavelength, and originates in at least one change of atmospheric pressure and the wavelength in said error measuring process based on a measured error. According to the 2nd mode of the 12th invention, it is preferred to predict change of an error which originates in change of temperature based on two or more errors which measured and measured an error on two or more temperature conditions in said error measuring process.

[0035]According to the 3rd mode of the 12th invention, said aberration measuring process, An auxiliary process of carrying out wavefront splitting of the light from a predetermined side, and forming many images of said predetermined side, and an image of said large number formed of wavefront splitting including an auxiliary process which carries out photoelectric detection said error measuring process, It is preferred to include an auxiliary process of positioning and illuminating an opening to said predetermined side, an auxiliary process of carrying out wavefront splitting of the light from said opening, and forming many images, and an auxiliary process of measuring an error of said aberration system of measurement based on an image of said large number formed of wavefront splitting.

[0036]According to the 4th mode of the 12th invention, said aberration measuring process, An auxiliary process of carrying out wavefront splitting of the light from a predetermined side, and forming many images of said predetermined side, and an image of said large number formed of wavefront splitting including an auxiliary process which carries out photoelectric detection said error measuring process, An auxiliary process which generates a spherical wave by positioning and illuminating a pinhole to said predetermined side or its neighborhood, It is preferred to include an auxiliary process of carrying out wavefront splitting of this spherical wave, and forming many images, and an auxiliary process of measuring an error of said

aberration system of measurement based on an image of said large number formed of wavefront splitting. [0037]According to the 5th mode of the 12th invention, said aberration measuring process, An auxiliary process of carrying out wavefront splitting of the light from a predetermined side, and forming many images of said predetermined side, and an image of said large number formed of wavefront splitting including an auxiliary process which carries out photoelectric detection said error measuring process, It is preferred to include an auxiliary process of illuminating an opening for proofreading positioned near [ said ] the predetermined side, an auxiliary process of carrying out wavefront splitting of the light from this opening for proofreading, and forming many images, and an auxiliary process of measuring an error of said aberration system of measurement based on an image of said large number formed of wavefront splitting.

[0038]According to the 6th mode of the 12th invention, it is preferred to expand a numerical aperture of light flux through said projection optical system in said error measuring process, and to illuminate said opening for proofreading with a numerical aperture more than the object side numerical aperture of said aberration system of measurement.

[0039]In the 13th invention of this invention, a manufacturing method of a micro device including an exposure process which exposes a pattern of said mask on said photosensitive substrate using an exposure method of the 12th invention, and a developing process which develops said photosensitive substrate exposed by this exposure process is provided.

[0040]

[Embodiment of the Invention]In this invention, illuminate the opening positioned in the object face of the test optical system with the numerical aperture more than the object side numerical aperture of a test optical system (incoherent Lighting Sub-Division), and wavefront splitting of the light from the primary image of the opening formed in the image surface of a test optical system is carried out, For example, the method which forms many secondary images of an opening on the acceptance surface of a photoelectric detection part like CCD is adopted. That is, since it is a method to which image formation of the opening of a resolvable size is carried out in CCD, it is not necessary to form this opening as the minimum pinhole like before, and to generate a spherical wave in this invention.

[0041]That is, in conventional technology, in order to generate an exact spherical wave, it is necessary to form the minimum pinhole where deviation from circular form is high but, and in this invention, the shape of an opening is not limited to a circle configuration and the formation accuracy is not so strict, either. As a result, it becomes possible to provide remarkable big illumination as compared with the case of the conventional technology using the minimum pinhole to CCD which is an image sensor. If it puts in another way, in this invention, highly precise aberration measurement can be performed based on sufficient amount of measuring beams, without using the minimum pinhole for generating a spherical wave.

[0042]In this invention, it has the container reference plate attached to the aberration system of measurement for measuring the wavefront aberration of a test optical system in one, and the position detection system for detecting the position of this container reference plate. The alignment mark and the reflector are formed in this container reference plate, for example. Therefore, when applying this invention, for example to an exposure device, if the position of the container reference plate along a field vertical to the optic axis of a projection optical system is attracted based on an alignment mark using the FIA system (it mentions later for details) carried in the exposure device, the position along the XY plane of the

aberration system of measurement can be detected.

[0043]The two-dimensional AF system (it mentions later for details) of the oblique incidence type carried in the exposure device is used. If the surface position of the container reference plate along the optical axis direction of the projection optical system is pulled based on the light flux which entered light flux in the reflector from the oblique direction, and was reflected in the reflector, the Z direction position of an aberration system of measurement, inclination of the circumference of the X-axis, and inclination of the circumference of a Y-axis are detectable. In this way, highly precise alignment (alignment) and position control can be promptly carried out to the same grade as the wafer in an exposure device. That is, in this invention, first stage positioning and position control of an aberration system of measurement can be performed promptly and with high precision, and quick and exact aberration measurement can be performed by extension. In this embodiment mentioned later, in order to detect the position along the XY plane of the aberration system of measurement, the FIA system carried in the exposure device is used, but as this position detection system, it is not restricted to a FIA system. For example, the US,4,710,026,B gazette and the US,5,151,750,B gazette, The LIA system currently indicated by the US,5,859,707,B gazette, the LSA system currently indicated by the US,4,677,301,B gazette and the US,5,151,750,B gazette, or a length measuring interferometer can be used. When detecting the position of the XY plane of a container reference plate using a length measuring interferometer, here, The composition which establishes the reflector for reflecting the length measurement beam from a length measuring interferometer in the end face of a container reference plate, It is preferred to have composition which attaches the reflector for making the composition which attaches the reflector for making a container reference plate reflect the length measurement beam from a length measuring interferometer, or the case in which the container reference plate is attached reflect the length measurement beam from a length measuring interferometer. In this embodiment mentioned later, in order to detect the position of the Z direction of an aberration system of measurement, inclination of the circumference of the X-axis, and inclination of the circumference of a Y-axis, the two-dimensional AF system carried in the exposure device is used, but as this position detection system, it is not restricted to a two-dimensional AF system. For example, a length measuring interferometer, an exhaust air micro, and an electrostatic capacity sensor can be used, or the automatic focusing function within a FIA system which is indicated by the US,5,721,605,B gazette and the US,5,783,833,B gazette can be used. When detecting the position of the XY plane of a container reference plate using a length measuring interferometer as mentioned above, For example, if the above-mentioned reflector and the reflector sloping in the above-mentioned reflector to the XY plane are established as indicated by JP,2000-39305,A or JP,2000-49066,A, It becomes possible to detect the position of the Z direction of a container reference plate and by extension, an aberration system of measurement, inclination of the circumference of the X-axis, and inclination of the circumference of a Y-axis.

[0044]The opening for proofreading is formed in the above-mentioned container reference plate in this invention. Therefore, the light from the opening for proofreading forms many images on the acceptance surface of CCD by illuminating this opening for proofreading. Although each image of the opening for proofreading is tidily located in a line and should be formed in the designed value, the position gap of the light volume centroid position of each opening image actually measured will be carried out under the influence of the wavefront aberration of an aberration system of measurement, etc. from the ideal position

assumed on the design.

[0045] Here, a position gap of each generated opening image originates only in an aberration system of measurement. So, in this invention, the position of each opening image acquired by the above-mentioned self-calibration is set as each starting point for measurement. As a result, high-precision wavefront aberration measurement can be performed, without errors, such as a wavefront aberration which the aberration system of measurement itself generates by measuring a wavefront aberration based on each set-up starting point for measurement, influencing the measurement result of a test optical system substantially.

[0046] The embodiment of this invention is described based on an accompanying drawing. Drawing 1 is a figure showing roughly the composition of the exposure device provided with the test equipment concerning the embodiment of this invention. In drawing 1, the X-axis is set up in the direction vertical to the space of drawing 1 along the normal line direction of the wafer W which is a photosensitive substrate, respectively in [ to a direction parallel to the space of drawing 1 / in the Z-axis / / in a wafer surface ] a wafer surface for a Y-axis. Although drawing 1 shows the state at the time of the aberration measurement which positioned the container reference plate of test equipment to the image surface of projection optical system PL, at the time of the detecting position using a FIA system or the autofocus system of the oblique incidence method, and projection exposure, the wafer W is positioned in the image surface of projection optical system PL.

[0047] The exposure device of drawing 1 is provided with the excimer laser which supplies light with a wavelength of 248 nm (KrF) or 193 nm (ArF), for example as the light source 1 for supplying exposing light (illumination light). After [ which was ejected from the light source 1 ] a parallel pencil is orthopedically operated mostly by the light flux of a specified section via the beam shaping optical system 2, it enters into the coherence reduced part 3. The coherence reduced part 3 has the function to reduce generating of the interference pattern on the mask M which is an irradiated plane (as a result, on the wafer W). About the details of the coherence reduced part 3, it is indicated by JP,S59-226317,A, for example.

[0048] The light flux from the coherence reduced part 3 forms many light sources in an after that side focal plane via the 1st fly eye lens 4. The light from the light source of these large number illuminates the 2nd fly eye lens 6 in superposition via the relay optical system 6, after being deflected by the vibration mirror 5. Here, the vibration mirror 5 is a bending mirror which rotates to the circumference of the X-axis, and has the function to reduce generating of the interference pattern in an irradiated plane. In this way, the secondary light source which consists of many light sources is formed in the backside focal plane of the 2nd fly eye lens 7. The light flux from this secondary light source carries out uniform illumination of the mask M in which the predetermined pattern was formed in the lower surface in superposition via the condenser optical systems 9, after being restricted by the aperture diaphragm 8 arranged in that neighborhood.

[0049] The light flux which penetrated the pattern of the mask M forms the image of a mask pattern via projection optical system PL on the wafer W which is a photosensitive substrate. The mask M is laid in mask stage MS via the mask holder (un-illustrating). Mask stage MS is driven by a mask stage control section (un-illustrating) based on the instructions from a main control system (un-illustrating). At this time, movement of mask stage MS is measured by the mask interferometer (un-illustrating) and the moving mirror (un-illustrating) formed in mask stage MS.

[0050] On the other hand, the vacuum chuck of the wafer W is carried out to the wafer holder WH on wafer

stage WS. Wafer stage WS is driven by a wafer stage control section (un-illustrating) based on the instructions from a main control system (un-illustrating). At this time, movement of wafer stage WS is measured by the wafer interferometer WIF and the moving mirror WM formed in wafer stage WS. In this way, wafer stage WS has the locomotive function of the direction of X, the locomotive function of the direction of Y, a locomotive function of a Z direction, a rotary function of the circumference of the Z-axis, a tilt function of the circumference of the X-axis, and a tilt function of the circumference of a Y-axis, and position control is carried out by the wafer interferometer WIF and the wafer stage control section by nano order.

[0051]The exposure device of drawing 1 is provided with the FIA (Field Image Alignment) system of an off-axis method as the 1st position detection system for detecting the position of the wafer W along the flat surface, i.e., the XY plane, of the projection optical system vertical to the optic axis AX. This FIA system is provided with the halogen lamp (un-illustrating), for example as a light source for supplying the illumination light with wide wavelength band width. The illumination light from a light source enters into the light guide 21 via a relay optical system (un-illustrating). The light which spread the inside of the light guide 21 enters into the half prism 24 via the condenser lens 22 and the relay lens 23.

[0052]The illumination light reflected by the half prism 24 carries out epi-illumination of each alignment mark (for example, the line and space pattern of the direction of X and the line and space pattern of the direction of Y) formed on the wafer W via the 1st object lens 25 and the reflecting prism 26. The catoptric light from each illuminated alignment mark enters into the half prism 24 via the reflecting prism 26 and the 1st object lens 25. The light which penetrated the half prism 24 enters into the half prism 28 via the 2nd object lens 27. The light which penetrated the half prism 28 amounts to direction CCD of X 29, and the light reflected by the half prism 28 amounts to direction CCD of Y 30.

[0053]Here, the enlarged image of X direction alignment mark is formed in the imaging surface of direction CCD of X 29, and the enlarged image of Y direction alignment mark is formed in the imaging surface of direction CCD of Y 30. In this way, by carrying out Image Processing Division of the imaging signal acquired by direction CCD of X 29, and direction CCD of Y 30, if the position along the XY plane of each alignment mark is attracted, the position along the XY plane of the wafer W is detected. And based on the position information on each detected alignment mark, alignment along the XY plane of the wafer W can be performed. About the details of the FIA system, it is indicated by JP,H4-65603,A, JP,H4-273246,A, etc., for example.

[0054]The exposure device of drawing 1 is provided with the so-called two-dimensional autofocus system (AF system) of an oblique incidence method as the 2nd position detection system for detecting the position of the wafer W in alignment with the direction, i.e., the Z direction, of the optic axis AX of the projection optical system. The two-dimensional AF system of this oblique incidence method is provided with the halogen lamp (un-illustrating), for example as a light source for supplying the large white light of a wavelength interval as detection light. The illumination light from a light source enters into the light guide 31 via a relay optical system (un-illustrating). The light which spread the inside of the light guide 31 enters into the polarizing prism 33, after being mostly changed into a parallel pencil via the condenser lens 32. The polarizing prism 33 deflects a parallel pencil from the condenser lens 32 by a refractive action mostly. The transmission-type-lattices pattern in which the long and slender transparent part prolonged in the direction of X and the long and slender shade part prolonged in the direction of X were provided by turns in the fixed



pitch is formed in the ejection side of the polarizing prism 33.

[0055]The light which penetrated the transmission-type-lattices pattern of the polarizing prism 33 enters into the condenser 34 for projection arranged in accordance with an optic axis parallel to the optic axis AX of projection optical system PL. The light flux through the condenser 34 for projection reaches the wafer W in a necessary incidence angle via the mirror 35 and the object lens 36 for projection. In this way, on the wafer W, the primary image of the lattice pattern as a two-dimensional slit projection pattern covers the whole, and is formed correctly. The light reflected with the wafer W enters into the condenser 39 for light-receiving via the object lens 37 for light-receiving, and the vibration mirror 38. The light through the condenser 39 for light-receiving enters into the above-mentioned polarizing prism 33 and the swing-and-tilt amendment prism 40 which has the same composition.

[0056]In this way, the secondary image of a lattice pattern is formed in the entrance plane of the swing-and-tilt amendment prism 40. The two-dimensional light-receiving slit as a shading means is provided in the entrance plane of the swing-and-tilt amendment prism 40. The light ejected from the projection surface of the swing-and-tilt amendment prism 40 enters into the relay optical system 41 which comprises a lens of a couple. The light through the relay optical system 41 forms the conjugate image of the secondary image of a lattice pattern and the opening of a light-receiving slit which were formed on the entrance plane of the swing-and-tilt amendment prism 40 on the acceptance surface of the light sensing portion 42. Two or more silicon photo diodes as a two-dimensional light-receiving sensor are formed in the acceptance surface so that it may correspond to two or more openings of a light-receiving slit optically.

[0057]The projection surface of the polarizing prism 33 in which the lattice pattern was formed, the exposure surface of the wafer W, and the entrance plane of the swing-and-tilt amendment prism 40 and the exposure surface of the wafer W in which the two-dimensional light-receiving slit was formed have conjugation relation which fulfilled the conditions of the shine proof. Here, if the wafer W carries out vertical movement to a Z direction in accordance with the optic axis AX of projection optical system PL, corresponding to the vertical movement of the wafer W, as for the secondary image of the lattice pattern formed on the entrance plane of the swing-and-tilt amendment prism 40, a strike slip will be started to the pitch direction of a pattern.

[0058]In this way, the surface position of the wafer W which carried out photoelectric detection of the amount of strike slips of the secondary image of a lattice pattern, and met the optic axis AX of projection optical system PL by the principle of the photoelectric microscope based on the amount of strike slips which carried out photoelectric detection is detected. The surface position of the wafer W which met the optic axis AX of projection optical system PL according to the two-dimensional multipoint autofocus method is detected in two dimensions. As a result, the surface position of the wafer W can be aligned in two dimensions to the focusing direction of projection optical system PL by making it move to a Z direction, or carrying out the tilt of wafer stage WS to the circumference of the X-axis, and the circumference of a Y-axis. About the details of the principle of a photoelectric microscope, it is indicated by JP,S56-42205,A, for example. About the details of the two-dimensional multipoint autofocus method, it is indicated by JP,H6-97045,A, for example.

[0059]As mentioned above, in the exposure device of drawing 1, it exposes by positioning the mask M and the wafer W with high precision to projection optical system PL. Alignment of the exchanged mask M and



the wafer W is carried out with high precision, they are piled up, and exposure is repeated. At this time, the detecting position of the wafer W is performed with high precision by an above-mentioned FIA system and two-dimensional AF system at the time of exchange of the wafer W. And position control of the wafer W is performed with high precision by the wafer interferometer WIF and the wafer stage control section. In this way, various patterns are formed in each exposure region of the wafer W by repeating the heavy exposure to the wafer W.

[0060]The exposure device of this embodiment is provided with the test equipment for measuring the wavefront aberration of projection optical system PL. Drawing 2 is a figure showing roughly the important section composition of the test equipment of drawing 1, and is a figure showing the state where the aberration system of measurement was developed in accordance with the optic axis. Hereafter, the composition of the test equipment of this embodiment is explained with reference to drawing 1 and drawing 2. In the test equipment of this embodiment, test mask TM for aberration measurement is installed on mask stage MS when measuring the wavefront aberration of projection optical system PL as a test optical system. As shown in drawing 3 at test mask TM, two or more (drawing 3 nine pieces) openings 10a of the circle configuration for aberration measurement are formed in matrix form in accordance with the direction of X, and the direction of Y. The opening 10b of the shape of a big square is substantially formed rather than the opening 10a.

[0061]The test equipment of this embodiment is provided with the container reference plate 11 attached on wafer stage WS in the almost same height position (Z direction position) as the exposure surface of the wafer W. The container reference plate 11 consists of glass substrates, for example, and has the base plane 11a vertical to the optic axis AX of projection optical system PL and vertical to optic-axis AX1 of the aberration system of measurement mentioned later by extension. As shown in drawing 4 on this base plane 11a, the opening 11b for proofreading (light transmission section) is formed in that center section, and two or more sets (drawing 4 4 sets) of alignment marks 11c are formed around it.

[0062]Here, the opening 11b for proofreading is set up more greatly than the image of the opening 10a of test mask TM formed via projection optical system PL. The alignment mark 11c of each class comprises a line and space pattern formed in accordance with the direction of X, and a line and space pattern formed in accordance with the direction of Y. 11 d of reflectors are formed in the opening 11b for proofreading, and the field except two or more alignment marks 11c. 11 d of reflectors are formed by vapor-depositing chromium (Cr), for example to a glass substrate.

[0063]The test equipment of this embodiment is provided with the aberration system of measurement as an optical system for measuring the wavefront aberration of projection optical system PL. In an aberration system of measurement, the light from the image of the opening 10a of test mask TM formed in the image surface via projection optical system PL enters into the micro fly eye 14 via the collimate lens 12 and the relay lens 13. The micro fly eye 14 is an optical element which consists of the microlens 14a of a large number which have the positive refractive power of the shape of a square arranged in all directions and densely, as shown in drawing 5. The micro fly eye 14 is constituted by performing an etching process, for example to a plane parallel plate board, and forming a microlens group.

[0064]Therefore, the light flux which entered into the micro fly eye 14 is divided in two dimensions by many microlenses 14a, and the image of the one opening 10a is formed near the backside focal plane of each

microlens 14a, respectively. A paraphrase will form many images of the opening 10a near the backside focal plane of the micro fly eye 14. In this way, the image of formed a large number is detected by CCD15 as a two-dimensional image sensor. The output of CCD15 is supplied to the signal processing unit 19. Thus, the micro fly eye 14 constitutes the wavefront-splitting element for carrying out wavefront splitting of the light from the primary image of the opening 10a of test mask TM formed in the image surface of projection optical system PL \*\*, and forming many secondary images of the opening 10a.

[0065] CCD15 constitutes the photoelectric detection part for carrying out photoelectric detection of many secondary images of the opening 10a formed of the micro fly eye 14 as a wavefront-splitting element. As shown in drawing 1, collimate lens 12, relay lens 13, micro fly eye 14, and CCD15 is provided in the inside of mask stage MS, and constitutes the aberration system of measurement as an optical system for measuring the wavefront aberration of projection optical system PL. As a result, the container reference plate 11 is attached to the aberration system of measurement (12-15) in one.

[0066] Generally, in the exposure device, the numerical aperture (NA) of the illumination light supplied from an illumination system (1-9) is set up smaller than the object side numerical aperture of projection optical system PL. Therefore, even if it illuminates the opening 10a of test mask TM using an illumination system (1-9), it will enter into projection optical system PL with a numerical aperture with an insufficient light through the opening 10a. Then, in order that the test equipment of this embodiment may illuminate the opening 10a with the numerical aperture  $NA_i$  more than the object side numerical aperture  $NA_p$  of projection optical system PL (incoherent Lighting Sub-Division), As shown in drawing 1, it has the lemon skin board 16 for being arranged enabling free insertion and detachment and diffusing light flux in the optical path between an illumination system (1-9) and test mask TM.

[0067] Drawing 6 is a figure showing a scattering characteristic when a parallel pencil enters to a lemon skin board. Drawing 7 is a figure which compares the luminance distribution in Lighting Sub-Division NA of the light flux which enters into a test mask, when the luminance distribution and the lemon skin board in Lighting Sub-Division NA of the light flux which enters into a test mask when not installing a lemon skin board are installed. If drawing 6 and drawing 7 are referred to, in order to expand the numerical aperture of the light flux from an illumination system (1-9), when the lemon skin board 16 is installed, it turns out that the luminance property of illumination luminous flux gets worse. So, in this embodiment, it has the neutral density filter 17 for being arranged near [ where a secondary light source is formed into the lighting optical path of an illumination system (1-9), for example ] the aperture diaphragm 8, enabling free insertion and detachment, and forming the light flux of predetermined light intensity distribution.

[0068] Here, the luminance property of illumination luminous flux worsening with the lemon skin board 16 can be mostly equalized by giving the transmissivity distribution of reverse normal distribution shape as shown in drawing 8 to the neutral density filter 17 to the lemon skin board 16 which has the scattering characteristic of normal distribution shape as shown in drawing 6. Or by installing the zona-orbicularis aperture diaphragm which replaces with the aperture diaphragm 8 and has a zona-orbicularis-like opening, and restricting a secondary light source in the shape of zona orbicularis, as shown in drawing 9, the luminance property of illumination luminous flux worsening with the lemon skin board 16 can also be equalized mostly. Of course, installation of the neutral density filter 17 and installation of the zona-orbicularis aperture diaphragm 8a which has a zona-orbicularis-like opening can also be used together.

[0069]As mentioned above, the lemon skin board 16 and the neutral density filter 17 (necessity is accepted and it is the zona-orbicularis aperture diaphragm 8a) constitute the numerical aperture magnification means for expanding the numerical aperture of the light flux from an illumination system (1-9). And the lemon skin board 16 constitutes the diffused-light study member for being arranged enabling free insertion and detachment and diffusing light flux in the optical path between an illumination system (1-9) and test mask TM. The neutral density filter 17 (necessity is accepted and it is the zona-orbicularis aperture diaphragm 8a) constitutes the luminance property equalization means for equalizing the luminance property of illumination luminous flux worsening with the lemon skin board 16. It can replace with installation of the lemon skin board 16, and lemon skin processing of the upside surface of test mask TM can also be carried out.

[0070]Generally, the scattering characteristic of a lemon skin board can be changed to some extent according to the field surface roughness of the grinding stone at the time of making a lemon skin board, and the difference of the floor to floor time at the time of carrying out the chemical treatment of the surface from acid. It is also possible to maintain almost uniformly the luminance property in Lighting Sub-Division NA of the light flux to which it replaced with the lemon skin board 16, remarkable DOE (diffractive OPUTIKUSU element) of the present technical progress was used, and the numerical aperture was expanded. DOE is constituted by usually forming a diffraction pattern by photo lithography on a glass plate, and DOE which has the characteristic which makes luminance property of the scattered light almost uniform to a definite angle is also developed. Therefore, when using DOE as a diffused-light study member, installation of the zona-orbicularis aperture diaphragm 8a which has installation of the neutral density filter 17 and a zona-orbicularis-like opening can also be omitted. In recent years, the numerical aperture of the illumination light supplied from the illumination system of an exposure device tends to become large. When the numerical aperture of the illumination light supplied from the illumination system of an exposure device is set up here more greatly enough than the object side numerical aperture of projection optical system PL, it is also possible to measure without using the lemon skin board 16 as a numerical aperture magnification means (for example, when it is  $\sigma \geq 1$ ).

[0071]At this embodiment, as mentioned above, the opening 10a is illuminated with the numerical aperture  $NA_i$  more than the object side numerical aperture  $NA_p$  of projection optical system PL. In this case, as shown in drawing 10, it is possible to think that the image formation optical system of mutually-independent a large number exists in each microlens 14a of every [ of the micro fly eye 14 of an aberration system of measurement ]. Each image formation optical system will carry out incoherent image formation of the image of the opening 10a in response to the influence of a part of wavefront aberration equivalent to the size of each microlens 14a, respectively. At this time, as shown in drawing 11, an aberration system of measurement is set up so that the image 10i of the opening 10a may be formed in the center of the opening 11b for proofreading of the container reference plate 11. That is, the opening 11b for proofreading is substantially set up greatly rather than the image 10i of the opening 10a formed via projection optical system PL.

[0072]When it considers from an image formation theory and a wavefront aberration has a tilt ingredient (inclination ingredient), it is obvious that the image formed via each microlens 14a carries out a position shift. That is, the position shift of an image will occur to average wave-front inclination quantity. When it puts in

another way, the position shift of an image according to partial wave-front inclination quantity will occur for every image formation optical system, respectively. The state of each image at this time is the same as that of the conventional point formed based on the spherical wave generated using the minimum pinhole. Therefore, measurement of a wavefront aberration is attained by the same signal processing as conventional technology.

[0073]When the wavefront aberration does not remain in projection optical system PL, specifically, the light volume centroid position of each image of the opening 10a is formed in each home position for measurement. When there is no error resulting from a wavefront aberration etc. in an aberration system of measurement so that it may mention later, each home position for measurement is set up on the optic axis of each microlens 14a of the micro fly eye 14. Actually, since the wavefront aberration remains in projection optical system PL, the position gap of the light volume centroid position of each image of the opening 10a is carried out from each home position for measurement. Therefore, in this embodiment, the wavefront aberration of projection optical system PL will be measured based on the above-mentioned position gap information included in the output of CCD15.

[0074]However, since it is a method to which image formation of the opening 10a of a resolvable size is carried out in CCD15, it is not necessary to form the opening 10a as the minimum pinhole like before, and to generate a spherical wave in this embodiment. That is, in conventional technology, in order to generate an exact spherical wave, it is necessary to form the minimum pinhole where deviation from circular form is high but, and in this embodiment, the shape of the opening 10a is not limited to a circle configuration. The transmissivity in the optical path from the opening 10a to CCD15 is determined depending on the transmissivity of the optical member which constitutes an aberration system of measurement, and degradation of the luminosity by diffraction like [ in the case of the conventional technology using the minimum pinhole ] does not take place. As a result, it becomes possible to provide remarkable big illumination as compared with the case of the conventional technology using the minimum pinhole to CCD15 which is an image sensor.

[0075]Hereafter, the operation which measures the wavefront aberration of projection optical system PL using the test equipment of this embodiment is explained. According to this embodiment, as mentioned above, the container reference plate 11 attached to the aberration system of measurement (12-15) in one is formed. And on the base plane 11a of the container reference plate 11, while the alignment mark 11c is formed by etching a chromium film etc., 11 d of reflectors processed with required sufficient profile irregularity are formed. Therefore, if the position of the container reference plate 11 along an XY plane is attracted based on the alignment mark 11c using the above-mentioned FIA system carried in the exposure device, the position of the aberration system of measurement along an XY plane is detectable.

[0076]The two-dimensional AF system of the above-mentioned oblique incidence type carried in the exposure device is used, If the surface position of the container reference plate 11 in alignment with a Z direction is pulled based on the light flux which entered light flux in 11 d of reflectors from the oblique direction, and was reflected in 11 d of reflectors, the Z direction position of an aberration system of measurement, inclination of the circumference of the X-axis, and inclination of the circumference of a Y-axis are detectable. An operation of the above-mentioned wafer interferometer WIF carried in the exposure device and a wafer stage actuator can perform promptly highly precise alignment (alignment) and

position control to the same grade as the wafer W.

[0077]If the aberration system of measurement is carrying out the position gap to projection optical system PL which is a test optical system at the direction of X, the direction of Y, the Z direction, etc., a wavefront aberration ingredient of the low next like a tilt ingredient or a defocusing ingredient will occur greatly. Then, in order to measure a wavefront aberration, it is necessary to drive in a position gap of an aberration system of measurement in a wavefront aberration measurement stroke. In order to raise the accuracy of measurement of a wavefront aberration, it is desirable to measure a wavefront aberration, where the above wavefront aberration ingredients of the low next are driven in as much as possible. By installing the container reference plate 11, the exact and quick position control of an aberration system of measurement becomes possible, and above-mentioned last spurt operation becomes easy. As a result, the absolute value measurement accuracy of absolute position Measurement Division of the focal side of projection optical system PL or distortion can be raised.

[0078]Wafer stage WS is driven, and if an aberration system of measurement is attracted into the exposure field area of projection optical system PL, it is made to specifically move into the detection field area of a two-dimensional AF system. In the state, alignment of the base plane 11a of the container reference plate 11 is carried out to the image surface of projection optical system PL using a two-dimensional AF system. That is, inclination of the circumference of the position in alignment with the Z direction of the base plane 11a of the container reference plate 11 and the X-axis and inclination of the circumference of a Y-axis are detected, and alignment adjustment is carried out so that the base plane 11a may be mostly in agreement with the image surface of projection optical system PL. Next, wafer stage WS is driven along an XY plane, and an aberration system of measurement is moved into the detection field area of a FIA system. And the position along the XY plane of optic-axis AX1 of an aberration system of measurement is detected using a FIA system by carrying out the detecting position of the alignment mark 11c on the container reference plate 11.

[0079]The physical relationship information between the alignment mark 11c on the container reference plate 11 and optic-axis AX1 of an aberration system of measurement is beforehand recognized by control software as data like the usual wafer alignment. Since there are two or more sets of alignment marks 11c, a still highly precise detecting position becomes possible by EGA (enhanced global alignment), i.e., the equalization effect of two or more data. In this way, the image of the 1st opening 10a arbitrarily selected among two or more openings provided in test mask TM positions an aberration system of measurement in first stage to the position formed via projection optical system PL.

[0080]Namely, in the state where the aberration system of measurement was correctly positioned in first stage, the central point of the image of the 1st opening 10a and optic-axis AX1 of an aberration system of measurement which were formed via projection optical system PL are in agreement in an XY plane. That is, as shown in drawing 11, the central point of the image 10i of the opening 10a and the central point of the opening 11b for proofreading of the container reference plate 11 are in agreement in an XY plane. In this initial state, the wavefront aberration of projection optical system PL is measured based on the output of CCD15. It can ask for a tilt ingredient, a power component (defocusing ingredient), and an astigmatic difference ingredient (ASU ingredient) from this measurement result, and the absolute value of distortion can be calculated [ the absolute position of a power component to a focal field (image surface) ] for an

astigmatic difference ingredient to a \*\*\*\*\* difference from a tilt ingredient, respectively.

[0081]Next, an aberration system of measurement is made to move slightly so that a tilt ingredient and a power component may become as small as possible. Based on amount of slight movements  $\Delta x$  of the direction of X of the aberration system of measurement at this time, and amount of slight movements  $\Delta y$  of the direction of Y, the absolute value of distortion can also be calculated for the absolute position of a focal side based on amount of slight movements  $\Delta z$  of the Z direction of an aberration system of measurement, respectively. In this way, where a tilt ingredient and a power component are driven in as small as possible, based on the output of CCD15, the wavefront aberration of projection optical system PL is measured with high precision eventually.

[0082]Measuring operation of an above-mentioned wavefront aberration is performed one by one in a similar manner about two or more remaining openings provided in test mask TM. Thus, after positioning which is an aberration system of measurement over the 1st opening of test mask TM is completed using the container reference plate 11, Like baking operation of original of an exposure device, always carry out alignment of the height position of the container reference plate 11 by a two-dimensional AF system, and. The position which met the XY plane of wafer stage WS based on the print-out of the wafer interferometer WIF can be controlled, and the wavefront aberration in the arbitrary coordinates position of projection optical system PL can be measured (namely, measurement of the wavefront aberration over two or more remaining openings of test mask TM).

[0083]As mentioned above, in this embodiment, it is possible to drive in so that only a desired value may make an aberration system of measurement move slightly based on the tilt ingredient and power component which are the first stage measurement results of an aberration system of measurement and a tilt ingredient and a power component may become small. With this function, measurement of the highly precise wavefront aberration based on high-speed position control is attained. Measurement of the wavefront aberration of projection optical system PL is performed not only at the time of first stage adjustment and inspection of projection optical system PL but at the time of subsequent check. Since measurement of the wavefront aberration at the time of check is performed by stopping primarily manufacture of the device which is the original purpose of an exposure device, the quick nature of work is required. In this case, the ease and quick nature of position control of this embodiment serve as a very important element.

[0084]By the way, in order to measure correctly the wavefront aberration of projection optical system PL carried in the exposure device, how the influence of the wavefront aberration etc. which are generated in the aberration system of measurement itself is processed poses a problem. Optical members, such as the collimate lens 12, the relay lens 13, the micro fly eye 14, CCD15, and a mirror (refer to drawing 1), are used for the aberration system of measurement of this embodiment. The manufacture error of these optical members is added to the measured value at the time of measurement of the wavefront aberration of projection optical system PL. In order to suppress small the influence of the measured value on the wavefront aberration etc. which are generated in the aberration system of measurement itself, How to set up very severely the common difference of each optical member which constitutes an aberration system of measurement, and to stop small enough the wavefront aberration yield of an aberration system of measurement as compared with the wavefront aberration yield of projection optical system PL which is a test optical system, Or how to grasp beforehand the influence of the wavefront aberration etc. which are

generated in the aberration system of measurement itself, and amend measured value can be considered. [0085]In the case of projection optical system PL by which a test optical system is carried in an exposure device, like this embodiment, it is actually next to impossible to stop small enough the wavefront aberration yield of an aberration system of measurement as compared with projection optical system PL. It is because the wave front aberration amount which remains in projection optical system PL of an exposure device is stopped by the from the first very small value. On the other hand, in order to set up severely the profile irregularity of the lens part and mirror part which constitute an aberration system of measurement, the homogeneity of the optical material (optical glass) itself must be raised, or the absolute value accuracy of the interferometer which measures profile irregularity must be raised.

[0086]In order to raise the accuracy of an interferometer, the improvement in the accuracy in the part level of the FIZO lens which constitutes an interferometer, a reference surface-of-a-sphere mirror, etc., and grasp with error are needed. Still severer accuracy is required of the grinder for raising profile irregularity itself, and the partial correction polishing technique etc. which amend profile irregularity selectively depending on the case must be applied. When it enumerates in this way, it understands how it is difficult to stop small enough the wavefront aberration yield of the aberration system of measurement itself as compared with projection optical system PL. Therefore, the thing for which the wavefront aberration yield of the aberration system of measurement itself is held down to the range permissible to some extent, and measured value is amended based on the error of an aberration system of measurement, That is, by performing a self-calibration about an aberration system of measurement shows that it is desirable to amend the influence of the wavefront aberration etc. which are generated in the aberration system of measurement itself.

[0087]Hereafter, with reference to drawing 12, the procedure of the self-calibration of the aberration system of measurement in this embodiment is explained. First, on the occasion of the self-calibration of an aberration system of measurement, the image of the opening 10b (refer to drawing 3) of the shape of a square of test mask TM positions an aberration system of measurement in the position formed via projection optical system PL. In this state, the illumination light from an illumination system (1-9) will illuminate the opening 11b for proofreading of the container reference plate 11 via projection optical system PL. Here, the illuminated field (image of the opening 10b) formed on the container reference plate 11 via projection optical system PL is substantially larger than the opening 11b for proofreading.

[0088]In this way, the light from the opening 11b for proofreading forms many images of the opening 11b for proofreading on the acceptance surface of CCD15 via the collimate lens 12, the relay lens 13, and the micro fly eye 14. In the designed value, on the optic axis of each microlens 14a of the micro fly eye 14, each image of the opening 11b for proofreading is tidily located in a line, and should be formed. However, the position gap of the light volume centroid position of each opening image actually measured will be carried out from the ideal position assumed on the design according to the wavefront aberration of an aberration system of measurement, the manufacture error of the micro fly eye 14, the arrangement error of the photo detector of CCD15, etc.

[0089]Here, a position gap of each generated opening image originates only in an aberration system of measurement, and is not influenced by the wavefront aberration of projection optical system PL, etc. In the self-calibration state of drawing 12, it is because projection optical system PL has only achieved the



function of the illumination relay optical system arranged in the optical path between an illumination system and an aberration system of measurement. So, in this embodiment, the position of each opening image acquired by the self-calibration is set as each starting point for measurement. And high-precision wavefront aberration measurement can be performed, without errors, such as a wavefront aberration which the aberration system of measurement itself generates by measuring a wavefront aberration based on each set-up starting point for measurement, influencing the measurement result of projection optical system PL substantially. the method of installing the opening for self-calibrations in the degree of a calibration since the opening 11b for proofreading is formed in this embodiment on the container reference plate 11 attached to the aberration system of measurement in one and a ratio -- the error resulting from BE \*\* and a position gap of an opening is not generated.

[0090]The error by the difference between the environment at the time of the measurement which actually measures a wavefront aberration, and the environment at the time of a self-calibration can be considered as an error generated when measuring the wavefront aberration of a test optical system. Specifically, the error resulting from change of wavelength, the error resulting from change of temperature, the error resulting from change of atmospheric pressure, etc. are mentioned. Although all of these environmental variations cause an error of measurement of an aberration system of measurement, the mainly influenced ingredient is the low order aberration (aberration to the Seidel's five aberrations as used in the field of geometric optics) below the 3rd aberration.

[0091]Here, although the error resulting from change of wavelength and the error resulting from change of atmospheric pressure affect an aberration system of measurement, the yield of the error is as a designed value mostly, and is considered [ that it can expect in soft, and ]. Therefore, change of the error which measures the error in predetermined atmospheric pressure and predetermined wavelength at the time of a self-calibration, and originates in change of atmospheric pressure and change of wavelength based on the measured error can be predicted. The amount of change between the atmospheric pressure and wavelength at the time of the actual atmospheric pressure and wavelength, and self-calibration at the time of measurement is calculated, and, specifically, it is possible for it to be based on the calculated amount of change and the amount of generated errors at the time of a self-calibration, and to calculate the amount of generated errors at the time of actual measurement.

[0092]On the other hand, about the error resulting from change of temperature, change of the error which measures the error generated under two or more temperature conditions at the time of a self-calibration, and originates in change of temperature based on two or more measured errors can be predicted. The amount of change between the measurement temperature nearest to a actual temperature is specifically calculated among a actual temperature at the time of measurement, and two or more measurement temperature which can be set at the time of a self-calibration, It is possible for it to be based on the calculated amount of change and the amount of generated errors at the time of a self-calibration, and to calculate the amount of generated errors at the time of actual measurement with interpolation (or extrapolation).

[0093]In order to fulfill the conditions of incoherent Lighting Sub-Division over the opening 11b for proofreading in the self-calibration state of drawing 12, While expanding the path of the variable opening of aperture-diaphragm AS arranged at the pupil of projection optical system PL more than needed (to for



example, maximum), it is desirable to set up the opening 10b of test mask TM near the optic axis AX of projection optical system PL. It is desirable to install a diffused-light study member like the lemon skin board 18 into the optical path between projection optical system PL and the container reference plate 11. [0094]However, the self-calibration is performed a priori, and since an error amount is only low order aberration and small to amend only the error resulting from change of wavelength, atmospheric pressure, or temperature, it is not necessary to necessarily fulfill the conditions of incoherent Lighting Sub-Division. When not fulfilling the conditions of incoherent Lighting Sub-Division, light does not enter into the microlens of the periphery of the micro fly eye 14, but amendment with error is attained based on a position gap of the image formed via the microlens of a center section. That is, a self-calibration is performed a priori, and it asks for each home position, and sets up measurable at any time by a certain amount of accuracy of measurement, and offset may be added to each home position in the calibration before subsequent real measurement. Thus, although various Methods of amendment by a self-calibration are considered, there is no change in amending the influence of the wavefront aberration etc. which are generated in the aberration system of measurement itself.

[0095]In this way, in the exposure device concerning an above-mentioned embodiment, the error of an aberration system of measurement (1-9) is measured by a self-calibration (error measuring process). The measured error is memorized by the memory part of the signal processing unit 19 (refer to drawing 2 and drawing 10) connected to CCD15, for example. And based on the error information which measured the wavefront aberration of projection optical system PL as a test optical system using the aberration system of measurement (aberration measuring process), and was measured by the self-calibration, the wavefront aberration measured value of projection optical system PL is amended (correcting process). In this way, projection optical system PL is adjusted based on the wavefront aberration of amended projection optical system PL (adjusting process). When adjusting projection optical system PL, make a lens move slightly, the pressure between lenses is controlled, or the optical member for aberration compensation is inserted.

[0096]Subsequently, a mask can be illuminated according to an illumination system (Lighting Sub-Division process), and micro devices (a semiconductor device, an image sensor, a liquid crystal display element, a thin film magnetic head, etc.) can be manufactured by what is done to a photosensitive substrate for the scanning exposure of the pattern for transfer formed in the mask using the projection optical system (exposure process). By forming a predetermined circuit pattern in the wafer as a photosensitive substrate, etc. hereafter using the exposure device of this embodiment shown in drawing 1 explains with reference to the flow chart of drawing 13 per example of the technique at the time of obtaining the semiconductor device as a micro device.

[0097]First, in Step 301 of drawing 13, a metal membrane is vapor-deposited on the wafer of one lot. In the following step 302, photoresist is applied on the metal membrane on the wafer of the 1 lot. Then, in Step 303, exposure transfer of the image of the pattern on a mask is carried out to each shot region on the wafer of the one lot one by one via the projection optical system (projection optics module) using the exposure device shown in drawing 1. Then, in the step 305 after development of the photoresist on the wafer of the one lot was performed in Step 304, By etching by using a resist pattern as a mask on the wafer of the one lot, the circuit pattern corresponding to the pattern on a mask is formed in each shot region on each wafer. Then, devices, such as a semiconductor device, are manufactured by performing formation of the circuit

pattern of the upper layer, etc. According to the above-mentioned semiconductor device manufacturing method, the semiconductor device which has a very detailed circuit pattern can be obtained with a sufficient throughput.

[0098]In the exposure device shown in drawing 1, the liquid crystal display element as a micro device can also be obtained by forming predetermined patterns (a circuit pattern, an electrode pattern, etc.) on a plate (glass substrate). Hereafter, with reference to the flow chart of drawing 14, it explains per example of the technique at this time. In drawing 14, what is called an optical lithography process of carrying out transfer exposure of the pattern of a mask to photosensitive substrates (glass substrate etc. in which resist was applied) using the exposure device of each embodiment is performed by the pattern formation process 401. Of this optical lithography process, the prescribed pattern containing many electrodes etc. is formed on a photosensitive substrate. Then, by passing through each process, such as a developing process, an etching process, and a reticle peeling process, a predetermined pattern is formed on a substrate and the exposed substrate shifts to the following light filter formation process 402.

[0099]Next, in the light filter formation process 402. Many groups of three dots corresponding to R (Red), G (Green), and B (Blue) are arranged by matrix form, or form the light filter which arranged the group of three filters, R, G, and B, of a stripe to two or more horizontal scanning line directions. And 403 is performed for a cell assembler after the light filter formation process 402. By 403, a liquid crystal panel (liquid crystal cell) is assembled as a cell assembler using the substrate which has the prescribed pattern obtained by the pattern formation process 401, the light filter obtained with the light filter formation process 402, etc. In 403, a liquid crystal is poured in as a cell assembler between the substrate which has the prescribed pattern obtained by the pattern formation process 401, for example, and the light filter obtained with the light filter formation process 402, and he manufactures a liquid crystal panel (liquid crystal cell).

[0100]Then, you attach each part articles in which the display action of the assembled liquid crystal panel (liquid crystal cell) is made to perform, such as an electric circuit and a back light, as a module assembler, and he makes it complete as a liquid crystal display element in 404. According to the manufacturing method of an above-mentioned liquid crystal display element, the liquid crystal display element which has a very detailed circuit pattern can be obtained with a sufficient throughput.

[0101]When using the  $F_2$  laser light source etc. which supply light with a source of ArF excimer laser light which supplies light with a wavelength of 193 nm, and a wavelength of 157 nm in an above-mentioned embodiment, in order to avoid the optical absorption by oxygen, The optical path from a light source to a photosensitive substrate and the optical path in an aberration system of measurement will be fulfilled by inactive gas, such as nitrogen and helium. In this case, it is preferred by touching the polluted air to accommodate and convey an aberration system of measurement to the bag or container filled with inactive gas so that cloudy weather may not occur in the lens side in an aberration system of measurement.

[0102]Although this invention is applied to the exposure device provided with the excimer laser in the above-mentioned embodiment, as shown in drawing 15, this invention can also be applied to the exposure device which uses an extra-high pressure mercury lamp as a light source, without being limited to this. In this case, in the exposure device concerning the modification shown in drawing 15, the extra-high pressure mercury lamp 51 which supplies the light containing the luminescent line of i line is positioned in the 1st focal position of the elliptic mirror 52 which has an ellipse reflector symmetrical with rotation about the

optic axis AX. Therefore, the illumination luminous flux ejected from the light source 51 forms a light source image in the 2nd focal position of the elliptic mirror 52.

[0103]The sending light bunch from the light source image formed in the 2nd focal position of the elliptic mirror 52, After it deviates by the reflective mirror 53 and being mostly changed into a parallel pencil by the collimate lens 54, it enters into the fly eye lens 7 which is a wavefront-splitting type optical integrator via a wavelength selection filter (un-illustrating). The composition after the following and the fly eye lens 7 is the same as that of the embodiment of drawing 1. In a wavelength selection filter, only the light (365 nm) of i line is chosen as exposing light, for example. Or the light of the light of g line (436 nm), h line (405 nm), and i line can also be chosen simultaneously, for example, the light of g line and the light of h line can also be chosen simultaneously, and the light of h line and the light of i line can also be chosen simultaneously.

[0104]Although this invention is applied to the test equipment built into the exposure device in the above-mentioned embodiment, as shown in drawing 16, this invention is also applicable to the test equipment which has an exclusive stage similar to a wafer stage. In this case, although the test equipment concerning the modification shown in drawing 16 is provided with the illumination system of the exposure device of drawing 1, the illumination system which has the same composition, and exclusive stage SS which has composition similar to the wafer stage of the exposure device of drawing 1, it is not provided with the FIA system and AF system of an oblique incidence method. It replaces with these alignment systems and exclusive stage SS is provided with the following.

1st interferometer IF1 for measuring the movement magnitude of the direction of Y.

2nd interferometer IF2 and 3rd interferometer IF3 of the couple for measuring the movement magnitude of the direction of X.

In the test equipment concerning the modification shown in drawing 16, the wavefront aberration of projection optical system PL and other suitable test optical system SL which should be carried in an exposure device is measured.

[0105]By the way, although the illumination system which has the same composition as the illumination system of the exposure device of drawing 1 is used in the test equipment concerning the modification shown in drawing 16, this invention is also applicable to the test equipment which has a lighting unit for exclusive use as shown in drawing 17. In this case, in the test equipment concerning the modification shown in drawing 17, after the light from a light source (un-illustrating) spreads by the light guide 61, the opening of test mask TM is illuminated via the condenser lens 62. The ejection end and the condenser lens 62 of the light guide 61 are supported in one by the base material 63.

[0106]Here, the lighting unit (61-63) is constituted so that test mask TM may be illuminated with the numerical aperture more than the object side numerical aperture of projection optical system PL and other suitable test optical system SL which should be carried in an exposure device. When the size of the illuminated field which a lighting unit (61-63) forms on test mask TM is not enough, The wavefront aberration of projection optical system PL or test optical system SL will be measured moving the base material 63 in two dimensions along an XY plane, and illuminating two or more openings of test mask TM one by one.

[0107]In the above-mentioned embodiment, while using the illumination system of an exposure device, operate projection optical system PL as an illumination relay optical system, and are performing the self-calibration of the aberration system of measurement, but. As shown in drawing 18, a self-calibration

can also be performed using an exclusive lighting unit similar to the lighting unit of the modification shown in drawing 17. That is, in the modification shown in drawing 18, after the light from a light source (un-illustrating) spreads by the light guide 61, the opening 11b for proofreading of the container reference plate 11 is illuminated via the condenser lens 62. At this time, the lighting unit (61, 62) is constituted so that the container reference plate 11 may be illuminated with the numerical aperture more than the object side numerical aperture of an aberration system of measurement. In this way, the error of an aberration system of measurement can be measured like an above-mentioned embodiment.

[0108]By the way, in the modification shown in drawing 18, although the self-calibration of the aberration system of measurement is performed using the lighting unit for exclusive use, as shown in drawing 19, a self-calibration can also be performed using the illumination system and illumination relay optical system of an embodiment of drawing 1. That is, in the modification shown in drawing 19, the light from an illumination system which has the same composition as the illumination system of the embodiment of drawing 1 illuminates the opening 11b for proofreading of the container reference plate 11 via the illumination relay optical system 71. At this time, the illumination relay optical system 71 is constituted so that the container reference plate 11 may be illuminated with the numerical aperture more than the object side numerical aperture of an aberration system of measurement. In this way, the error of an aberration system of measurement can be measured like an above-mentioned embodiment.

[0109]Although the self-calibration of the aberration system of measurement is performed in the above-mentioned embodiment by making the image of the opening 11b for proofreading formed in the center of the container reference plate 11 form on the acceptance surface of CCD15, As shown in drawing 20, a self-calibration can also be performed based on the spherical wave generated via the minimum pinhole. That is, in the modification shown in drawing 20, the tool 81 by which the minimum pinhole was formed in the acceptance surface of CCD15 and the conjugate optically position is positioned.

[0110]Therefore, in the case of the modification shown in drawing 20, a predetermined gap (gap) will be formed between the acceptance surface of CCD15, a conjugate optically field, and the base plane 11a of the container reference plate 11. If the tool 81 is illuminated in this state, the spherical wave generated from that minimum pinhole will form many images (condensing point) of the minimum pinhole in the acceptance surface of CCD15 via the collimate lens 12, the relay lens 13, and the micro fly eye 14. In this way, the error of an aberration system of measurement can be measured like an above-mentioned embodiment.

[0111]By the way, as shown in drawing 21, the modification shown in drawing 20 is also applicable to the exposure device of drawing 1. In this case, on the occasion of the self-calibration of an aberration system of measurement, test mask TM in which the minimum pinhole was formed is installed. If an illumination system (1-9) illuminates test mask TM in this state, the spherical wave generated from that minimum pinhole via projection optical system PL, the collimate lens 12, the relay lens 13, and the micro fly eye 14, Many images (condensing point) of the minimum pinhole are formed in the acceptance surface of CCD15. In this way, change etc. of the error of the aberration system of measurement which originates, for example in an environmental change can be measured like an above-mentioned embodiment.

[0112]

[Effect of the Invention]As explained above, in this invention, the opening positioned in the object face of the test optical system with the numerical aperture more than the object side numerical aperture of a test

optical system is illuminated (incoherent Lighting Sub-Division), The method which carries out wavefront splitting of the light from the primary image of the opening formed in the image surface of a test optical system, for example, forms many secondary images of an opening on the acceptance surface of a photoelectric detection part like CCD is adopted. As a result, in this invention, highly precise aberration measurement can be performed based on sufficient amount of measuring beams, without using the minimum pinhole for generating a spherical wave.

[0113]In this invention, it has the container reference plate attached to the aberration system of measurement for measuring the wavefront aberration of a test optical system in one, and the position detection system for detecting the position of this container reference plate. To this container reference plate, since the alignment mark and the reflector are formed, for example, the position of an aberration system of measurement is detectable promptly and with high precision using an alignment mark or a reflector. As a result, in this invention, first stage positioning and position control of an aberration system of measurement can be performed promptly and with high precision, and quick and exact aberration measurement can be performed by extension.

[0114]In this invention, since the opening for proofreading is formed in the above-mentioned container reference plate, many images are formed on the acceptance surface of CCD by illuminating this opening for proofreading. Although each image of the opening for proofreading is tidily located in a line and should be formed in the designed value, the position gap of the light volume centroid position of each opening image actually measured will be carried out under the influence of the wavefront aberration of an aberration system of measurement, etc. from the ideal position assumed on the design. So, in this invention, the position of each opening image acquired by the above-mentioned self-calibration is set as each starting point for measurement. As a result, high-precision wavefront aberration measurement can be performed, without errors, such as a wavefront aberration which the aberration system of measurement itself generates by measuring a wavefront aberration based on each set-up starting point for measurement, influencing the measurement result of a test optical system substantially.

#### [Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1]It is a figure showing roughly the composition of the exposure device provided with the test equipment concerning the embodiment of this invention.

[Drawing 2]It is a figure showing roughly the important section composition of the test equipment of drawing 1, and is a figure showing the state where the aberration system of measurement was developed in accordance with the optic axis.

[Drawing 3]It is a figure showing roughly the composition of the test mask installed on a mask stage when measuring the wavefront aberration of a projection optical system.

[Drawing 4]It is a figure showing roughly the composition of the container reference plate attached to the aberration system of measurement in one.

[Drawing 5]It is a figure showing roughly the composition of the micro fly eye as a wavefront-splitting element in an aberration system of measurement.

[Drawing 6]It is a figure showing a scattering characteristic when a parallel pencil enters to a lemon skin board.

[Drawing 7]When the luminance distribution and the lemon skin board in Lighting Sub-Division NA of the

light flux which enters into a test mask when not installing a lemon skin board are installed, it is a figure which compares the luminance distribution in Lighting Sub-Division NA of the light flux which enters into a test mask.

[Drawing 8]It is a figure showing the transmissivity distribution of the reverse normal distribution shape given to the neutral density filter.

[Drawing 9]It is a figure showing signs that the luminance property of illumination luminous flux worsening with a lemon skin board is equalized mostly by restricting a secondary light source in the shape of zona orbicularis via a zona-orbicularis aperture diaphragm.

[Drawing 10]It is a figure showing signs that the image formation optical system of mutually-independent a large number exists for every microlens of the micro fly eye of an aberration system of measurement.

[Drawing 11]It is a figure showing signs that the image of the opening of a test mask is formed in the center of the opening for proofreading of a container reference plate.

[Drawing 12]It is a figure explaining the procedure of the self-calibration of the aberration system of measurement in this embodiment.

[Drawing 13]It is a flow chart of the technique at the time of obtaining the semiconductor device as a micro device.

[Drawing 14]It is a flow chart of the technique at the time of obtaining the liquid crystal display element as a micro device.

[Drawing 15]It is a figure showing the modification which applied this invention in the exposure device which uses an extra-high pressure mercury lamp as a light source.

[Drawing 16]It is a figure showing the modification which applied this invention in the test equipment which has an exclusive stage similar to the wafer stage of drawing 1.

[Drawing 17]It is a figure showing the modification which applied this invention in the test equipment which has a lighting unit for exclusive use.

[Drawing 18]It is a figure showing the modification which performs a self-calibration using an exclusive lighting unit similar to the lighting unit of the modification shown in drawing 17.

[Drawing 19]It is a figure showing the modification which performs a self-calibration using the illumination system and illumination relay optical system of an embodiment of drawing 1.

[Drawing 20]It is a figure showing the modification which performs a self-calibration based on the spherical wave generated via the minimum pinhole.

[Drawing 21]It is a figure showing the modification which performs a self-calibration with the application of the modification shown in drawing 20 to the exposure device of drawing 1.

[Description of Notations]

- 1 Light source
- 2 Beam shaping optical system
- 3 Coherence reduced part
- 4 and 7 Fly eye lens
- 5 Vibration mirror
- 6 Relay optical system
- 8 Aperture diaphragm

9 Condenser optical systems  
11 Container reference plate  
12 Collimate lens  
13 Relay lens  
14 Micro fly eye  
15 CCD  
16 and 18 Lemon skin board  
17 Neutral density filter  
19 Signal processing unit  
M Mask  
MS Mask stage  
TM Test mask  
PL Projection optical system  
W Wafer  
WS Wafer stage

---

[Translation done.]

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2002-71514

(P2002-71514A)

(43)公開日 平成14年3月8日(2002.3.8)

(51)Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	デマコト*(参考)
G 0 1 M 11/02		G 0 1 M 11/02	B 2 F 0 6 5
G 0 1 B 11/24		G 0 3 F 7/20	5 2 1 2 G 0 8 6
G 0 3 F 7/20	5 2 1	G 0 1 B 11/24	F 5 F 0 4 6
H 0 1 L 21/027			K
		H 0 1 L 21/30	5 1 6 A
審査請求 未請求 請求項の数30 O L (全 23 頁)			

(21)出願番号 特願2000-258085(P2000-258085)

(22)出願日 平成12年8月28日(2000.8.28)

(71)出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72)発明者 長山 匡

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株

式会社ニコン内

(74)代理人 100095256

弁理士 山口 孝雄

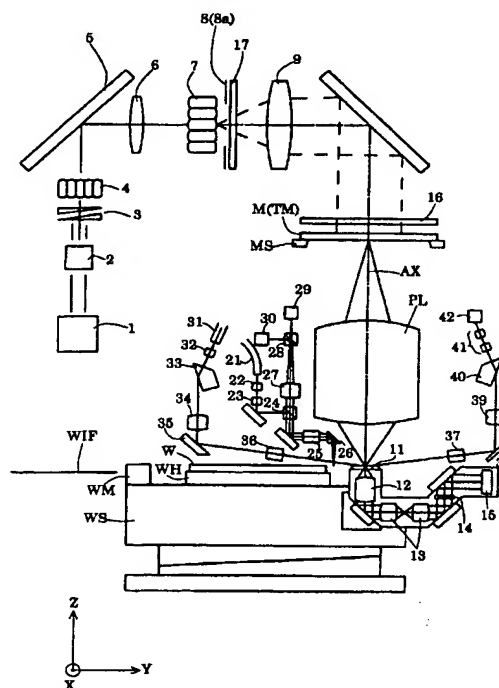
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 検査装置、該検査装置を備えた露光装置、およびマイクロデバイスの製造方法

#### (57)【要約】

【課題】 球面波を発生させるための極小ピンホールを用いることなく、十分な測定光量に基づいて高精度な収差測定を行うことのできる検査装置。

【解決手段】 被検光学系 (P L) の波面収差を測定するための検査装置である。被検光学系 (P L) の物体側開口数以上の開口数で被検光学系の物体面に位置決めされた開口部 (T M) を照明するための照明ユニット (1 ~ 9, 16) と、被検光学系の像面に形成された開口部の一次像からの光を波面分割して開口部の二次像を多数形成するための波面分割素子 (14) と、波面分割素子により形成された多数の二次像を光電検出するための光電検出部 (15) とを備えている。





## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 被検光学系の波面収差を測定するための検査装置において、  
前記被検光学系の物体側開口数以上の開口数で前記被検光学系の物体面に位置決めされた開口部を照明するための照明ユニットと、  
前記被検光学系の像面に形成された前記開口部の一次像からの光を波面分割して前記開口部の二次像を多数形成するための波面分割素子と、  
前記波面分割素子により形成された前記多数の二次像を光電検出するための光電検出部とを備えていることを特徴とする検査装置。

【請求項 2】 前記照明ユニットは、前記開口部に対して照明光を供給するための照明系と、該照明系からの光束の開口数を拡大するための開口数拡大手段とを有することを特徴とする請求項 1 に記載の検査装置。

【請求項 3】 前記開口数拡大手段は、前記照明系と前記被検光学系の物体面との間の光路中に挿脱自在に配置されて光束を拡散するための拡散光学部材を有することを特徴とする請求項 2 に記載の検査装置。

【請求項 4】 前記開口数拡大手段は、前記拡散光学部材により悪化する照明光束の輝度特性を均一化するための輝度特性均一化手段を有することを特徴とする請求項 3 に記載の検査装置。

【請求項 5】 照明されたマスクのパターン像を感光性基板上に形成するための投影光学系を備えた露光装置において、

請求項 2 乃至 4 のいずれか 1 項に記載の検査装置を備え、  
前記検査装置中の前記照明系は前記マスクを照明することが可能であり、  
前記検査装置により前記投影光学系を前記被検光学系として波面収差を測定することを特徴とする露光装置。

【請求項 6】 被検光学系の波面収差を測定するための収差測定系と、  
前記収差測定系に一体的に取り付けられた標示板と、  
前記標示板の位置を検出するための位置検出系とを備えていることを特徴とする検査装置。

【請求項 7】 前記位置検出系は、前記被検光学系の光軸に垂直な面に沿った前記収差測定系の位置を検出するための第 1 検出系と、前記被検光学系の光軸方向に沿った前記収差測定系の位置を検出するための第 2 検出系とを有することを特徴とする請求項 6 に記載の検査装置。

【請求項 8】 前記標示板は、前記収差測定系の光軸に垂直な基準平面を有し、該基準平面上にはアライメントマークおよび反射面が形成され、  
前記第 1 検出系は、前記アライメントマークに基づいて前記基準平面に沿った前記収差測定系の位置を検出し、  
前記第 2 検出系は、前記反射面へ斜め方向から光束を入射させ前記反射面で反射された光束に基づいて前記基準

平面の法線方向に沿った前記収差測定系の位置を検出することを特徴とする請求項 7 に記載の検査装置。

【請求項 9】 前記標示板は、前記収差測定系の光軸に垂直な基準平面を有し、該基準平面上にはアライメントマークおよび反射面のうち的一方が形成されていることを特徴とする請求項 6 に記載の検査装置。

【請求項 10】 前記被検光学系の物体側開口数以上の開口数で前記被検光学系の物体面に位置決めされた開口部を照明するための照明ユニットをさらに備え、  
前記収差測定系は、前記被検光学系の像面に形成された前記開口部の一次像からの光を波面分割して前記開口部の二次像を多数形成するための波面分割素子と、該波面分割素子により形成された前記多数の二次像を光電検出するための光電検出部とを有することを特徴とする請求項 6 乃至 9 のいずれか 1 項に記載の検査装置。

【請求項 11】 前記標示板は、前記収差測定系の光軸に垂直な基準平面を有し、  
前記収差測定系は、前記被検光学系の像面に形成された開口部の一次像からの光を波面分割して前記開口部の二次像を多数形成するための波面分割素子と、該波面分割素子により形成された前記多数の二次像を光電検出するための光電検出部とを有し、  
前記基準平面は前記光電検出部の検出面と光学的にほぼ共役な位置に配置され、前記基準平面上には前記収差測定系の誤差を測定して前記収差測定系を校正するための校正用開口部が形成されていることを特徴とする請求項 6 乃至 10 のいずれか 1 項に記載の検査装置。

【請求項 12】 前記校正用開口部は、前記基準平面上に形成される前記開口部の一次像よりも実質的に大きく設定されていることを特徴とする請求項 11 に記載の検査装置。

【請求項 13】 照明されたマスクのパターン像を感光性基板上に形成するための投影光学系を備えた露光装置において、

請求項 6 乃至 12 のいずれか 1 項に記載の検査装置を備え、  
前記検査装置により前記投影光学系を前記被検光学系として波面収差を測定することを特徴とする露光装置。

【請求項 14】 照明されたマスクのパターン像を感光性基板上に形成するための投影光学系を備えた露光装置において、  
前記投影光学系を前記被検光学系として波面収差を測定するための請求項 7 または 8 に記載の検査装置を備え、  
前記第 2 検出系は、前記投影光学系の光軸方向に沿った前記感光性基板の位置を検出することを特徴とする露光装置。

【請求項 15】 照明されたマスクのパターン像を感光性基板上に形成するための投影光学系を備えた露光装置において、  
前記投影光学系を前記被検光学系として波面収差を測定

するための請求項 10 乃至 12 のいずれか 1 項に記載の検査装置を備え、

前記検査装置中の前記照明ユニットは前記マスクを照明することが可能であることを特徴とする露光装置。

【請求項 16】 収差測定系を用いて被検光学系の波面収差を測定するための検査装置において、前記収差測定系の誤差を測定するための誤差測定手段を備え、

前記誤差測定手段で測定した誤差情報に基づいて、前記被検光学系に関する前記収差測定系の出力を補正することを特徴とする検査装置。

【請求項 17】 前記収差測定系は、所定面からの光を波面分割して前記所定面の像を多数形成するための波面分割素子と、該波面分割素子により形成された前記多数の像を光電検出するための光電検出部とを有し、前記誤差測定手段は、前記所定面の近傍に形成された校正用開口部を有し、前記被検光学系を介した光により前記校正用開口部を照明し、前記波面分割素子により形成された前記校正用開口部の多数の像に基づいて前記収差測定系の誤差を測定することを特徴とする請求項 16 に記載の検査装置。

【請求項 18】 収差測定系を用いて被検光学系の波面収差を測定するための検査装置において、前記収差測定系の誤差を記憶するためのユニットを備え、前記ユニットからの誤差情報に基づいて、前記被検光学系に関する前記収差測定系の出力を補正することを特徴とする検査装置。

【請求項 19】 マスクを照明するための照明系と、前記マスクのパターン像を感光性基板上に形成するための投影光学系を備えた露光装置において、請求項 16 乃至 18 のいずれか 1 項に記載の検査装置を備え、

前記検査装置により前記投影光学系を前記被検光学系として波面収差を測定することを特徴とする露光装置。

【請求項 20】 前記検査装置による測定結果に基づいて、前記投影光学系の光学特性を調整することを特徴とする請求項 5、13～15、および 19 のいずれか 1 項に記載の露光装置。

【請求項 21】 請求項 5、13～15、19 および 20 のいずれか 1 項に記載の露光装置を用いて前記マスクのパターンを前記感光性基板上に露光する露光工程と、該露光工程により露光された前記感光性基板を現像する現像工程とを含むことを特徴とするマイクロデバイスの製造方法。

【請求項 22】 収差測定系を用いて被検光学系の波面収差を測定する検査方法において、前記収差測定系の誤差を測定する誤差測定工程と、前記収差測定系を用いて前記被検光学系の波面収差を測定する収差測定工程と、

前記誤差測定工程で測定した誤差情報に基づいて、前記収差測定工程で得られた前記被検光学系の収差測定値を補正する補正工程とを含むことを特徴とする検査方法。

【請求項 23】 前記誤差測定工程では、所定の環境における前記収差測定系の誤差を測定し、該測定誤差に基づいて前記環境の変動に起因する誤差の変化を予測することを特徴とする請求項 22 に記載の検査方法。

【請求項 24】 前記収差測定工程は、所定面からの光を波面分割して前記所定面の像を多数形成する補助工程と、波面分割により形成された前記多数の像を光電検出する補助工程とを含み、

前記誤差測定工程は、前記所定面に開口部を位置決めして照明する補助工程と、前記開口部からの光を波面分割して多数の像を形成する補助工程と、波面分割により形成された前記多数の像に基づいて前記収差測定系の誤差を測定する補助工程とを含むことを特徴とする請求項 22 または 23 に記載の検査方法。

【請求項 25】 前記収差測定工程は、所定面からの光を波面分割して前記所定面の像を多数形成する補助工程と、波面分割により形成された前記多数の像を光電検出する補助工程とを含み、

前記誤差測定工程は、前記所定面またはその近傍にピンホールを位置決めして照明することにより球面波を発生させる補助工程と、該球面波を波面分割して多数の像を形成する補助工程と、波面分割により形成された前記多数の像に基づいて前記収差測定系の誤差を測定する補助工程とを含むことを特徴とする請求項 22 または 23 に記載の検査方法。

【請求項 26】 前記収差測定工程は、所定面からの光を波面分割して前記所定面の像を多数形成する補助工程と、波面分割により形成された前記多数の像を光電検出する補助工程とを含み、

前記誤差測定工程は、前記所定面近傍に位置決めされた校正用開口部を照明する補助工程と、該校正用開口部からの光を波面分割して多数の像を形成する補助工程と、波面分割により形成された前記多数の像に基づいて前記収差測定系の誤差を測定する補助工程とを含むことを特徴とする請求項 22 または 23 に記載の検査方法。

【請求項 27】 投影光学系を介してマスクのパターン像を感光性基板上に投影露光する露光方法において、前記投影光学系を前記被検光学系として、前記投影光学系の波面収差を請求項 22 乃至 26 のいずれか 1 項に記載の検査方法により測定し、前記補正工程により補正された前記投影光学系の波面収差に基づいて、前記投影光学系を調整する調整工程を含むことを特徴とする露光方法。

【請求項 28】 前記誤差測定工程では、所定の気圧および所定の波長のうちの少なくとも一方における誤差を測定し、測定した誤差に基づいて気圧および波長のうちの少なくとも一方の変動に起因する誤差の変化を予測す

ることを特徴とする請求項 27 に記載の露光方法。

【請求項 29】 前記誤差測定工程では、複数の温度条件において誤差を測定し、測定した複数の誤差に基づいて温度の変動に起因する誤差の変化を予測することを特徴とする請求項 27 または 28 に記載の露光方法。

【請求項 30】 請求項 27 乃至 29 のいずれか 1 項に記載の露光方法を用いて前記マスクのパターンを前記感光性基板上に露光する露光工程と、該露光工程により露光された前記感光性基板を現像する現像工程とを含むことを特徴とするマイクロデバイスの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、検査装置、該検査装置を備えた露光装置、およびマイクロデバイスの製造方法に関する。本発明は、特に半導体素子、撮像素子、液晶表示素子、または薄膜磁気ヘッド等のマイクロデバイスをリソグラフィー工程で製造するための露光装置に搭載された投影光学系の波面収差の測定に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 半導体素子等をフォトリソグラフィ工程で製造する際に、マスクのパターン像を感光性基板（ウェハ、ガラス基板、プレートなど）に投影露光する露光装置が使用されている。この種の露光装置では、マスクパターン像を感光性基板に高い解像力をもって忠実に投影するために、諸収差が十分に抑制された良好な光学性能を有する投影光学系が設計されている。

【0003】 ところが、実際に製造された露光装置の投影光学系では、設計上の光学性能とは異なり、様々な要因に起因する諸収差が残存している。そこで、従来、露光装置に搭載された投影光学系のような被検光学系に残存する収差を測定するための種々の装置が提案されている。たとえば、国際公開 WO99/60361 号公報には、極小ピンホールを用いて発生させた球面波に基づいて被検光学系の波面収差を測定する収差測定装置が開示されている。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】 しかしながら、上述の公報に開示された従来の収差測定装置では、装置自体が発生する波面収差などの誤差が被検光学系の収差測定結果に影響する（上乗せされる）という不都合があった。また、従来の収差測定装置では、装置の初期的な位置設定および位置制御が困難であるという不都合があった。さらに、従来の収差測定装置では、球面波を発生させるために極小径のピンホールを用いるので、測定光量が著しく不足するという不都合があった。

【0005】 本発明は、前述の課題に鑑みてなされたものであり、装置自体が発生する波面収差などの誤差が被検光学系の収差測定結果に実質的に影響することのない、測定精度の高い検査装置および該検査装置を備えた

露光装置を提供することを目的とする。

【0006】 また、本発明は、収差測定系の初期的な位置設定および位置制御を迅速に且つ高精度に行うことができ、ひいては迅速で且つ正確な収差測定を行うことのできる、検査装置および該検査装置を備えた露光装置を提供することを目的とする。

【0007】 さらに、本発明は、球面波を発生させるための極小ピンホールを用いることなく、十分な測定光量に基づいて高精度な収差測定を行うことのできる、検査装置および該検査装置を備えた露光装置を提供することを目的とする。

【0008】 また、本発明は、高精度な収差測定に基づいて良好に調整された投影光学系を用いて、高い解像力で良好なマイクロデバイスを製造することのできる、マイクロデバイスの製造方法を提供することを目的とする。

【0009】

【課題を解決するための手段】 前記課題を解決するために、本発明の第 1 発明では、被検光学系の波面収差を測定するための検査装置において、前記被検光学系の物体側開口数以上の開口数で前記被検光学系の物体面に位置決めされた開口部を照明するための照明ユニットと、前記被検光学系の像面に形成された前記開口部の一次像からの光を波面分割して前記開口部の二次像を多数形成するための波面分割素子と、前記波面分割素子により形成された前記多数の二次像を光電検出するための光電検出部とを備えていることを特徴とする検査装置を提供する。

【0010】 第 1 発明の第 1 態様によれば、前記照明ユニットは、前記開口部に対して照明光を供給するための照明系と、該照明系からの光束の開口数を拡大するための開口数拡大手段とを有することが好ましい。また、第 1 発明の第 2 態様によれば、前記開口数拡大手段は、前記照明系と前記被検光学系の物体面との間の光路中に挿脱自在に配置されて光束を拡散するための拡散光学部材を有することが好ましい。さらに、第 1 発明の第 3 態様によれば、前記開口数拡大手段は、前記拡散光学部材により悪化する照明光束の輝度特性を均一化するための輝度特性均一化手段を有することが好ましい。

【0011】 また、第 1 発明の第 4 態様によれば、前記輝度特性均一化手段は、前記照明系の照明光路中に挿脱自在に配置されて所定の光強度分布の光束を形成するための濃度フィルタを有することが好ましい。さらに、第 1 発明の第 5 態様によれば、前記輝度特性均一化手段は、前記照明系の光路中において前記投影光学系の瞳と光学的にほぼ共役な位置に輪帯状の面光源を形成するための面光源形成手段を有することが好ましい。また、第 1 発明の第 6 態様によれば、前記波面分割素子は、二次元的に配列された多数の微小レンズを有することが好ましい。

【0012】本発明の第2発明では、照明されたマスクのパターン像を感光性基板上に形成するための投影光学系を備えた露光装置において、第1発明の第2態様～第6態様の検査装置を備え、前記検査装置中の前記照明系は前記マスクを照明することが可能であり、前記検査装置により前記投影光学系を前記被検光学系として波面収差を測定することを特徴とする露光装置を提供する。

【0013】本発明の第3発明では、被検光学系の波面収差を測定するための収差測定系と、前記収差測定系に一体的に取り付けられた標示板と、前記標示板の位置を検出するための位置検出系とを備えていることを特徴とする検査装置を提供する。

【0014】第3発明の第1態様によれば、前記位置検出系は、前記被検光学系の光軸に垂直な面に沿った前記収差測定系の位置を検出するための第1検出系と、前記被検光学系の光軸方向に沿った前記収差測定系の位置を検出するための第2検出系とを有することが好ましい。また、第3発明の第2態様によれば、前記標示板は、前記収差測定系の光軸に垂直な基準平面を有し、該基準平面上にはアライメントマークおよび反射面が形成され、前記第1検出系は、前記アライメントマークに基づいて前記基準平面に沿った前記収差測定系の位置を検出し、前記第2検出系は、前記反射面へ斜め方向から光束を入射させ前記反射面で反射された光束に基づいて前記基準平面の法線方向に沿った前記収差測定系の位置を検出することが好ましい。

【0015】さらに、第3発明の第3態様によれば、前記標示板は、前記収差測定系の光軸に垂直な基準平面を有し、該基準平面上にはアライメントマークおよび反射面のうちの一方が形成されていることが好ましい。また、第3発明の第4態様によれば、前記被検光学系の物体側開口数以上の開口数で前記被検光学系の物体面に位置決めされた開口部を照明するための照明ユニットをさらに備え、前記収差測定系は、前記被検光学系の像面に形成された前記開口部の一次像からの光を波面分割して前記開口部の二次像を多数形成するための波面分割素子と、該波面分割素子により形成された前記多数の二次像を光電検出するための光電検出部とを有することが好ましい。

【0016】さらに、第3発明の第5態様によれば、前記標示板は、前記収差測定系の光軸に垂直な基準平面を有し、前記収差測定系は、前記被検光学系の像面に形成された開口部の一次像からの光を波面分割して前記開口部の二次像を多数形成するための波面分割素子と、該波面分割素子により形成された前記多数の二次像を光電検出するための光電検出部とを有し、前記基準平面は前記光電検出部の検出面と光学的にほぼ共役な位置に配置され、前記基準平面上には前記収差測定系の誤差を測定して前記収差測定系を校正するための校正用開口部が形成されていることが好ましい。また、第3発明の第6態様

によれば、前記校正用開口部は、前記基準平面上に形成される前記開口部の一次像よりも実質的に大きく設定されていることが好ましい。

【0017】本発明の第4発明では、照明されたマスクのパターン像を感光性基板上に形成するための投影光学系を備えた露光装置において、第3発明の検査装置を備え、前記検査装置により前記投影光学系を前記被検光学系として波面収差を測定することを特徴とする露光装置を提供する。

【0018】本発明の第5発明では、照明されたマスクのパターン像を感光性基板上に形成するための投影光学系を備えた露光装置において、前記投影光学系を前記被検光学系として波面収差を測定するための第4発明の第1態様または第2態様の検査装置を備え、前記第2検出系は、前記投影光学系の光軸方向に沿った前記感光性基板の位置を検出することを特徴とする露光装置を提供する。

【0019】本発明の第6発明では、照明されたマスクのパターン像を感光性基板上に形成するための投影光学系を備えた露光装置において、前記投影光学系を前記被検光学系として波面収差を測定するための第3発明の第4態様～第6態様の検査装置を備え、前記検査装置中の前記照明ユニットは前記マスクを照明することが可能であることを特徴とする露光装置を提供する。

【0020】第4発明および第6発明の第1態様によれば、前記照明ユニットは、前記開口部に対して照明光を供給するための照明系と、該照明系からの光束の開口数を拡大するための開口数拡大手段とを有することが好ましい。また、第4発明および第6発明の第2態様によれば、前記開口数拡大手段は、前記照明系と前記被検光学系の物体面との間の光路中に挿脱自在に配置されて光束を拡散するための拡散光学部材を有することが好ましい。さらに、第4発明および第6発明の第3態様によれば、前記開口数拡大手段は、前記拡散光学部材により悪化する照明光束の輝度特性を均一化するための輝度特性均一化手段を有することが好ましい。

【0021】また、第4発明および第6発明の第4態様によれば、前記輝度特性均一化手段は、前記照明系の照明光路中に挿脱自在に配置されて所定の光強度分布の光束を形成するための濃度フィルタを有することが好ましい。さらに、第4発明および第6発明の第5態様によれば、前記輝度特性均一化手段は、前記照明系の光路中において前記投影光学系の瞳と光学的にほぼ共役な位置に輪帯状の面光源を形成するための面光源形成手段を有することが好ましい。

【0022】本発明の第7発明では、収差測定系を用いて被検光学系の波面収差を測定するための検査装置において、前記収差測定系の誤差を測定するための誤差測定手段を備え、前記誤差測定手段で測定した誤差情報に基づいて、前記被検光学系に関する前記収差測定系の出力

を補正することを特徴とする検査装置を提供する。

【0023】第7発明の第1態様によれば、前記収差測定系は、所定面からの光を波面分割して前記所定面の像を多数形成するための波面分割素子と、該波面分割素子により形成された前記多数の像を光電検出するための光電検出部とを有し、前記誤差測定手段は、前記所定面の近傍に形成された校正用開口部を有し、前記被検光学系を介した光により前記校正用開口部を照明し、前記波面分割素子により形成された前記校正用開口部の多数の像に基づいて前記収差測定系の誤差を測定することが好ましい。

【0024】本発明の第8発明では、収差測定系を用いて被検光学系の波面収差を測定するための検査装置において、前記収差測定系の誤差を記憶するためのユニットを備え、前記ユニットからの誤差情報に基づいて、前記被検光学系に関する前記収差測定系の出力を補正することを特徴とする検査装置を提供する。

【0025】本発明の第9発明では、マスクを照明するための照明系と、前記マスクのパターン像を感光性基板上に形成するための投影光学系を備えた露光装置において、第7発明または第8発明の検査装置を備え、前記検査装置により前記投影光学系を前記被検光学系として波面収差を測定することを特徴とする露光装置を提供する。

【0026】第2発明、第4発明～第6発明、および第9発明において、前記検査装置による測定結果に基づいて、前記投影光学系の光学特性を調整することが好ましい。

【0027】本発明の第10発明では、第2発明、第4発明～第6発明、および第9発明の露光装置を用いて前記マスクのパターンを前記感光性基板上に露光する露光工程と、該露光工程により露光された前記感光性基板を現像する現像工程とを含むことを特徴とするマイクロデバイスの製造方法を提供する。

【0028】本発明の第11発明では、収差測定系を用いて被検光学系の波面収差を測定する検査方法において、前記収差測定系の誤差を測定する誤差測定工程と、前記収差測定系を用いて前記被検光学系の波面収差を測定する収差測定工程と、前記誤差測定工程で測定した誤差情報に基づいて、前記収差測定工程で得られた前記被検光学系の収差測定値を補正する補正工程とを含むことを特徴とする検査方法を提供する。

【0029】第11発明の第1態様によれば、前記誤差測定工程では、所定の環境における前記収差測定系の誤差を測定し、該測定誤差に基づいて前記環境の変動に起因する誤差の変化を予測することが好ましい。また、第11発明の第2態様によれば、前記誤差測定工程では、所定の気圧および所定の波長における誤差を測定し、測定した誤差に基づいて気圧の変動および波長の変動に起因する誤差の変化を予測することが好ましい。さらに、

第11発明の第3態様によれば、前記誤差測定工程では、複数の温度条件において誤差を測定し、測定した複数の誤差に基づいて温度の変動に起因する誤差の変化を予測することが好ましい。

【0030】また、第11発明の第4態様によれば、前記収差測定工程は、所定面からの光を波面分割して前記所定面の像を多数形成する補助工程と、波面分割により形成された前記多数の像を光電検出する補助工程とを含み、前記誤差測定工程は、前記所定面に開口部を位置決めして照明する補助工程と、前記開口部からの光を波面分割して多数の像を形成する補助工程と、波面分割により形成された前記多数の像に基づいて前記収差測定系の誤差を測定する補助工程とを含むことが好ましい。

【0031】さらに、第11発明の第5態様によれば、前記収差測定工程は、所定面からの光を波面分割して前記所定面の像を多数形成する補助工程と、波面分割により形成された前記多数の像を光電検出する補助工程とを含み、前記誤差測定工程は、前記所定面またはその近傍にピンホールを位置決めして照明することにより球面波を発生させる補助工程と、該球面波を波面分割して多数の像を形成する補助工程と、波面分割により形成された前記多数の像に基づいて前記収差測定系の誤差を測定する補助工程とを含むことが好ましい。

【0032】また、第11発明の第6態様によれば、前記収差測定工程は、所定面からの光を波面分割して前記所定面の像を多数形成する補助工程と、波面分割により形成された前記多数の像を光電検出する補助工程とを含み、前記誤差測定工程は、前記所定面近傍に位置決めされた校正用開口部を照明する補助工程と、該校正用開口部からの光を波面分割して多数の像を形成する補助工程と、波面分割により形成された前記多数の像に基づいて前記収差測定系の誤差を測定する補助工程とを含むことが好ましい。

【0033】本発明の第12発明では、投影光学系を介してマスクのパターン像を感光性基板上に投影露光する露光方法において、前記投影光学系を前記被検光学系として、前記投影光学系の波面収差を第11発明の検査方法により測定し、前記補正工程により補正された前記投影光学系の波面収差に基づいて、前記投影光学系を調整する調整工程を含むことを特徴とする露光方法を提供する。

【0034】第12発明の第1態様によれば、前記誤差測定工程では、所定の気圧および所定の波長のうちの少なくとも一方における誤差を測定し、測定した誤差に基づいて気圧および波長のうちの少なくとも一方の変動に起因する誤差の変化を予測することが好ましい。また、第12発明の第2態様によれば、前記誤差測定工程では、複数の温度条件において誤差を測定し、測定した複数の誤差に基づいて温度の変動に起因する誤差の変化を予測することが好ましい。



【0035】さらに、第12発明の第3態様によれば、前記収差測定工程は、所定面からの光を波面分割して前記所定面の像を多数形成する補助工程と、波面分割により形成された前記多数の像を光電検出する補助工程とを含み、前記誤差測定工程は、前記所定面に開口部を位置決めして照明する補助工程と、前記開口部からの光を波面分割して多数の像を形成する補助工程と、波面分割により形成された前記多数の像に基づいて前記収差測定系の誤差を測定する補助工程とを含むことが好ましい。

【0036】また、第12発明の第4態様によれば、前記収差測定工程は、所定面からの光を波面分割して前記所定面の像を多数形成する補助工程と、波面分割により形成された前記多数の像を光電検出する補助工程とを含み、前記誤差測定工程は、前記所定面またはその近傍にピンホールを位置決めして照明することにより球面波を発生させる補助工程と、該球面波を波面分割して多数の像を形成する補助工程と、波面分割により形成された前記多数の像に基づいて前記収差測定系の誤差を測定する補助工程とを含むことが好ましい。

【0037】さらに、第12発明の第5態様によれば、前記収差測定工程は、所定面からの光を波面分割して前記所定面の像を多数形成する補助工程と、波面分割により形成された前記多数の像を光電検出する補助工程とを含み、前記誤差測定工程は、前記所定面近傍に位置決めされた校正用開口部を照明する補助工程と、該校正用開口部からの光を波面分割して多数の像を形成する補助工程と、波面分割により形成された前記多数の像に基づいて前記収差測定系の誤差を測定する補助工程とを含むことが好ましい。

【0038】また、第12発明の第6態様によれば、前記誤差測定工程では、前記投影光学系を介した光束の開口数を拡大して、前記収差測定系の物体側開口数以上の開口数で前記校正用開口部を照明することが好ましい。

【0039】本発明の第13発明では、第12発明の露光方法を用いて前記マスクのパターンを前記感光性基板上に露光する露光工程と、該露光工程により露光された前記感光性基板を現像する現像工程とを含むことを特徴とするマイクロデバイスの製造方法を提供する。

【0040】

【発明の実施の形態】本発明では、被検光学系の物体側開口数以上の開口数で被検光学系の物体面に位置決めされた開口部を照明（インコヒーレント照明）し、被検光学系の像面に形成された開口部の一次像からの光を波面分割して、たとえばCCDのような光電検出部の受光面上に開口部の二次像を多数形成する方式を採用している。すなわち、本発明では、CCDにおいて解像可能な大きさの開口部を結像させる方式であるため、この開口部を従来のように極小ピンホールとして形成して球面波を発生させる必要はない。

【0041】すなわち、従来技術では正確な球面波を

生させるために真円度の高い極小のピンホールを形成する必要があるが、本発明では開口部の形状は円形状に限定されることがなく、その形成精度もあまり厳密ではない。その結果、撮像素子であるCCDに対して、極小ピンホールを用いる従来技術の場合に比して著しく大きな照度を提供することが可能となる。換言すると、本発明では、球面波を発生させるための極小ピンホールを用いることなく、十分な測定光量に基づいて高精度な収差測定を行うことができる。

【0042】また、本発明では、被検光学系の波面収差を測定するための収差測定系に一体的に取り付けられた標示板と、この標示板の位置を検出するための位置検出系とを備えている。この標示板には、たとえばアライメントマークおよび反射面が形成されている。したがって、たとえば露光装置に本発明を適用する場合、露光装置に搭載されたFIA系（詳細は後述）を用いて、アライメントマークに基づいて、投影光学系の光軸に垂直な面に沿った標示板の位置を、ひいては収差測定系のXY平面に沿った位置を検出することができる。

【0043】また、露光装置に搭載された斜入射式の二次元AF系（詳細は後述）を用いて、反射面へ斜め方向から光束を入射させ反射面で反射された光束に基づいて、投影光学系の光軸方向に沿った標示板の面位置を、ひいては収差測定系のZ方向位置、X軸周りの傾き、およびY軸周りの傾きを検出することができる。こうして、露光装置におけるウェハと同じ程度に高精度なアライメント（位置合わせ）および位置制御を迅速に行うことができる。すなわち、本発明では、収差測定系の初期的な位置設定および位置制御を迅速に且つ高精度に行うことができ、ひいては迅速で且つ正確な収差測定を行うことができる。なお、後述する本実施形態では、収差測定系のXY平面に沿った位置を検出するために、露光装置に搭載されたFIA系を用いているが、この位置検出系としてはFIA系には限られない。例えば、米国特許第4,710,026号公報や米国特許第5,151,750号公報、米国特許第5,859,707号公報に開示されているLIA系、米国特許第4,677,301号公報や米国特許第5,151,750号公報に開示されているLSA系、または測長干渉計などを用いることができる。ここで、測長干渉計を用いて標示板のXY平面の位置を検出するときには、標示板の端面に測長干渉計からの測長ビームを反射させるための反射面を設ける構成、標示板に測長干渉計からの測長ビームを反射させるための反射鏡を取り付ける構成、あるいは標示板が取り付けられている筐体に測長干渉計からの測長ビームを反射させるための反射鏡を取り付ける構成とすることが好ましい。また、後述する本実施形態では、収差測定系のZ方向の位置、X軸周りの傾き、およびY軸周りの傾きを検出するために、露光装置に搭載された二次元AF系を用いているが、この位置検出系としては二次元A

F系には限られない。例えば、測長干渉計やエアマイク  
ロ、静電容量センサを用いたり、米国特許第5,72  
1,605号公報や米国特許第5,783,833号公  
報に開示されているようなFIA系内のオートフォーカ  
ス機能を用いたりすることができる。また、上述のよう  
に測長干渉計を用いて標示板のXY平面の位置を検出す  
るときには、例えば特開2000-39305号公報また  
は特開2000-49066号公報に開示されている  
ように上記反射面、上記反射鏡にXY平面に対して傾斜  
した反射面を設ければ、標示板、ひいては収差測定系の  
Z方向の位置、X軸周りの傾き、およびY軸周りの傾き  
を検出することが可能となる。

【0044】さらに、本発明では、上述の標示板に校正  
用の開口部が形成されている。したがって、この校正用  
開口部を照明することにより、校正用開口部からの光が  
CCDの受光面上に多数の像を形成する。設計値では、  
校正用開口部の各像が整然と並んで形成されるはずであ  
るが、収差測定系の波面収差などの影響により、実際に  
測定される各開口部像の光量重心位置は設計上仮定した  
理想位置から位置ずれしてしまう。

【0045】ここで、発生した各開口部像の位置ずれ  
は、収差測定系にのみ起因するものである。そこで、本  
発明では、上述の自己キャリブレーションで得られた各  
開口部像の位置を測定用の各原点に設定する。その結  
果、設定した測定用の各原点に基づいて波面収差の測定  
を行うことにより、収差測定系自体が発生する波面収差  
などの誤差が被検光学系の測定結果に実質的に影響する  
ことなく、精度の高い波面収差測定を行うことができ  
る。

【0046】本発明の実施形態を、添付図面に基づいて  
説明する。図1は、本発明の実施形態にかかる検査装置  
を備えた露光装置の構成を概略的に示す図である。図1  
において、感光性基板であるウェハWの法線方向に沿っ  
てZ軸を、ウェハ面内において図1の紙面に平行な方向  
にY軸を、ウェハ面内において図1の紙面に垂直な方向  
にX軸をそれぞれ設定している。なお、図1では、投影  
光学系PLの像面に検査装置の標示板を位置決めした収  
差測定時の状態を示しているが、FIA系や斜入射方式  
のオートフォーカス系を用いた位置検出時および投影露  
光時には、投影光学系PLの像面にウェハWが位置決め  
される。

【0047】図1の露光装置は、露光光（照明光）を供  
給するための光源1として、たとえば248nm（KrF）または193nm（ArF）の波長の光を供給する  
エキシマレーザ光源を備えている。光源1から射出さ  
れたほぼ平行光束は、ビーム整形光学系2を介して所定  
断面の光束に整形された後、干渉性低減部3に入射す  
る。干渉性低減部3は、被照射面であるマスクM上（ひ  
いてはウェハW上）での干渉パターンの発生を低減する  
機能を有する。干渉性低減部3の詳細については、たと

えば特開昭59-226317号公報に開示されてい  
る。

【0048】干渉性低減部3からの光束は、第1フライ  
アイレンズ4を介して、その後側焦点面に多数の光源を  
形成する。これらの多数の光源からの光は、振動ミラ  
ー5で偏向された後、リレー光学系6を介して第2フライ  
アイレンズ6を重畳的に照明する。ここで、振動ミラ  
ー5は、X軸周りに回転する折り曲げミラーであって、被  
照射面での干渉パターンの発生を低減する機能を有す  
る。こうして、第2フライアイレンズ7の後側焦点面  
には、多数の光源からなる二次光源が形成される。この  
二次光源からの光束は、その近傍に配置された開口絞り8  
により制限された後、コンデンサー光学系9を介して、  
下側面に所定のパターンが形成されたマスクMを重畳的  
に均一照明する。

【0049】マスクMのパターンを透過した光束は、投  
影光学系PLを介して、感光性基板であるウェハW上に  
マスクパターンの像を形成する。マスクMは、マスクホ  
ルダ（不図示）を介して、マスクステージMSに載置さ  
れている。なお、マスクステージMSは、主制御系（不  
図示）からの指令に基づき、マスクステージ制御部（不  
図示）によって駆動される。このとき、マスクステージ  
MSの移動は、マスク干渉計（不図示）とマスクステー  
ジMSに設けられた移動鏡（不図示）とにより計測され  
る。

【0050】一方、ウェハWは、ウェハステージWS上  
のウェハホルダWHに真空チャックされている。ウェハ  
ステージWSは、主制御系（不図示）からの指令に基づ  
き、ウェハステージ制御部（不図示）によって駆動され  
る。このとき、ウェハステージWSの移動は、ウェハ干  
渉計WIFとウェハステージWSに設けられた移動鏡WM  
とにより計測される。こうして、ウェハステージWS  
は、X方向の移動機能、Y方向の移動機能、Z方向の移  
動機能、Z軸周りの回転機能、X軸周りのチルト機能、  
およびY軸周りのチルト機能を有し、ウェハ干渉計WIF  
とウェハステージ制御部とによりナノオーダーで位置制  
御される。

【0051】また、図1の露光装置は、投影光学系の光  
軸AXに垂直な平面すなわちXY平面に沿ったウェハW  
の位置を検出するための第1位置検出系として、オフア  
クシス方式のFIA（Field Image Alignment）系を備  
えている。このFIA系は、波長帯域幅の広い照明光を  
供給するための光源として、たとえばハロゲンランプ  
（不図示）を備えている。光源からの照明光は、リレー  
光学系（不図示）を介して、ライトガイド21に入射す  
る。ライトガイド21の内部を伝播した光は、コンデン  
サーレンズ22およびリレーレンズ23を介して、ハー  
フプリズム24に入射する。

【0052】ハーフプリズム24で反射された照明光  
は、第1対物レンズ25および反射プリズム26を介し

てウェハW上に形成された各アライメントマーク（たとえばX方向のラインアンドスペースパターンおよびY方向のラインアンドスペースパターン）を落射照明する。照明された各アライメントマークからの反射光は、反射プリズム26および第1対物レンズ25を介して、ハーフプリズム24に入射する。ハーフプリズム24を透過した光は、第2対物レンズ27を介して、ハーフプリズム28に入射する。ハーフプリズム28を透過した光はX方向CCD29に達し、ハーフプリズム28で反射された光はY方向CCD30に達する。

【0053】ここで、X方向CCD29の撮像面にはX方向アライメントマークの拡大像が形成され、Y方向CCD30の撮像面にはY方向アライメントマークの拡大像が形成される。こうして、X方向CCD29およびY方向CCD30で得られた撮像信号を画像処理することによって、各アライメントマークのXY平面に沿った位置を、ひいてはウェハWのXY平面に沿った位置を検出する。そして、検出した各アライメントマークの位置情報に基づいて、ウェハWのXY平面に沿ったアライメントを行うことができる。なお、FIA系の詳細については、たとえば特開平4-65603号公報や特開平4-273246号公報などに開示されている。

【0054】さらに、図1の露光装置は、投影光学系の光軸AXの方向すなわちZ方向に沿ったウェハWの位置を検出するための第2位置検出系として、いわゆる斜入射方式の二次元オートフォーカス系（AF系）を備えている。この斜入射方式の二次元AF系は、検出光として波長幅の広い白色光を供給するための光源として、たとえばハロゲンランプ（不図示）を備えている。光源からの照明光はリレー光学系（不図示）を介して、ライトガイド31に入射する。ライトガイド31の内部を伝搬した光は、コンデンサーレンズ32を介してほぼ平行光束に変換された後、偏向プリズム33に入射する。偏向プリズム33は、コンデンサーレンズ32からのほぼ平行光束を、屈折作用により偏向させる。また、偏向プリズム33の射出側には、X方向に延びる細長い透過部とX方向に延びる細長い遮光部とが一定のピッチで交互に設けられた透過型格子パターンが形成されている。

【0055】偏向プリズム33の透過型格子パターンを透過した光は、投影光学系PLの光軸AXに平行な光軸に沿って配置された投射用集光レンズ34に入射する。投射用集光レンズ34を介した光束は、ミラー35および投射用対物レンズ36を介して、所要の入射角でウェハWに達する。こうして、ウェハW上には、二次元スリット投影パターンとしての格子パターンの一次像がその全体に亘って正確に形成される。ウェハWで反射された光は、受光用対物レンズ37および振動ミラー38を介して、受光用集光レンズ39に入射する。受光用集光レンズ39を介した光は、上述の偏向プリズム33と同様の構成を有するアオリ補正プリズム40に入射する。

【0056】こうして、アオリ補正プリズム40の入射面には、格子パターンの二次像が形成される。なお、アオリ補正プリズム40の入射面には、遮光手段としての二次元受光スリットが設けられている。アオリ補正プリズム40の射出面から射出された光は、一对のレンズで構成されるリレー光学系41に入射する。リレー光学系41を介した光は、アオリ補正プリズム40の入射面上に形成された格子パターンの二次像と受光スリットの開口部との共役像を、受光部42の受光面上に形成する。受光面には、受光スリットの複数の開口部に光学的に対応するように、二次元受光センサとしての複数のシリコン・フォト・ダイオードが設けられている。

【0057】なお、格子パターンが形成された偏向プリズム33の射出面とウェハWの露光面、および二次元受光スリットの形成されたアオリ補正プリズム40の入射面とウェハWの露光面とがシャインブルーフの条件を満たした共役関係になっている。ここで、ウェハWが投影光学系PLの光軸AXに沿ってZ方向に上下移動すると、アオリ補正プリズム40の入射面上に形成される格子パターンの二次像は、ウェハWの上下移動に対応してパターンのピッチ方向に横ずれを起こす。

【0058】こうして、光電顕微鏡の原理により、格子パターンの二次像の横ずれ量を光電検出し、光電検出した横ずれ量に基づいて投影光学系PLの光軸AXに沿ったウェハWの面位置を検出する。また、二次元多点オートフォーカス方式にしたがって投影光学系PLの光軸AXに沿ったウェハWの面位置を二次元的に検出する。その結果、ウェハステージWSをZ方向に移動させたり、X軸周りおよびY軸周りにチルトさせることにより、投影光学系PLのフォーカス方向にウェハWの面位置を二次元的にアライメントすることができる。なお、光電顕微鏡の原理の詳細については、例えば特開昭56-42205号公報に開示されている。また、二次元多点オートフォーカス方式の詳細については、例えば特開平6-97045号公報に開示されている。

【0059】上述したように、図1の露光装置では、マスクMおよびウェハWを投影光学系PLに対して高精度に位置決めして露光を行う。また、交換したマスクMとウェハWとを高精度に位置合わせして重ね露光を繰り返す。このとき、ウェハWの交換時には、上述のFIA系および二次元AF系により、ウェハWの位置検出が高精度に行われる。そして、ウェハ干渉計WIFおよびウェハステージ制御部により、ウェハWの位置制御が高精度に行われる。こうして、ウェハWへの重ね露光を繰り返すことにより、ウェハWの各露光領域に種々のパターンが形成される。

【0060】本実施形態の露光装置は、投影光学系PLの波面収差を測定するための検査装置を備えている。図2は、図1の検査装置の要部構成を概略的に示す図であって、収差測定系をその光軸に沿って展開した状態を示



す図である。以下、図1および図2を参照して、本実施形態の検査装置の構成について説明する。本実施形態の検査装置では、被検光学系としての投影光学系PLの波面収差の測定に際して、マスクステージMS上に収差測定用のテストマスクTMが設置される。テストマスクTMには、図3に示すように、収差測定用の円形状の開口部10aがX方向およびY方向に沿って複数個(図3では9個)マトリックス状に形成されている。また、開口部10aよりも実質的に大きな正形状の開口部10bが形成されている。

【0061】また、本実施形態の検査装置は、ウェハステージWS上においてウェハWの露光面とほぼ同じ高さ位置(Z方向位置)に取り付けられた標示板11を備えている。標示板11は、たとえばガラス基板からなり、投影光学系PLの光軸AXに垂直な、ひいては後述する収差測定系の光軸AX1に垂直な基準平面11aを有する。この基準平面11a上には、図4に示すように、その中央部に校正用開口部(光透過部)11bが形成され、その周辺には複数組(図4では4組)のアライメントマーク11cが形成されている。

【0062】ここで、校正用開口部11bは、投影光学系PLを介して形成されるテストマスクTMの開口部10aの像よりも大きく設定されている。また、各組のアライメントマーク11cは、X方向に沿って形成されたラインアンドスペースパターンとY方向に沿って形成されたラインアンドスペースパターンとから構成されている。さらに、校正用開口部11bおよび複数のアライメントマーク11cを除く領域には、反射面11dが形成されている。反射面11dは、たとえばガラス基板にクロム(Cr)を蒸着することにより形成されている。

【0063】さらに、本実施形態の検査装置は、投影光学系PLの波面収差を測定するための光学系としての収差測定系を備えている。収差測定系では、投影光学系PLを介してその像面に形成されたテストマスクTMの開口部10aの像からの光が、コリメートレンズ12およびリレーレンズ13を介して、マイクロフライアイ14に入射する。マイクロフライアイ14は、図5に示すように、縦横に且つ稠密に配列された正形状の正屈折力を有する多数の微小レンズ14aからなる光学素子である。マイクロフライアイ14は、たとえば平行平面ガラス板にエッチング処理を施して微小レンズ群を形成することによって構成されている。

【0064】したがって、マイクロフライアイ14に入射した光束は多数の微小レンズ14aにより二次元的に分割され、各微小レンズ14aの後側焦点面の近傍にはそれぞれ1つの開口部10aの像が形成される。換言すると、マイクロフライアイ14の後側焦点面の近傍には、開口部10aの像が多数形成される。こうして形成された多数の像は、二次元撮像素子としてのCCD15によって検出される。CCD15の出力は、信号処理ユ

ニット19に供給される。このように、マイクロフライアイ14は、投影光学系PLその像面に形成されたテストマスクTMの開口部10aの一次像からの光を波面分割して開口部10aの二次像を多数形成するための波面分割素子を構成している。

【0065】また、CCD15は、波面分割素子としてのマイクロフライアイ14により形成された開口部10aの多数の二次像を光電検出するための光電検出部を構成している。さらに、コリメートレンズ12、リレーレンズ13、マイクロフライアイ14およびCCD15は、図1に示すように、マスクステージMSの内部に設けられ、投影光学系PLの波面収差を測定するための光学系としての収差測定系を構成している。その結果、標示板11は、収差測定系(12~15)に一体的に取り付けられている。

【0066】一般に、露光装置では、照明系(1~9)から供給される照明光の開口数(NA)が投影光学系PLの物体側開口数よりも小さく設定されている。したがって、照明系(1~9)を用いてテストマスクTMの開口部10aを照明しても、開口部10aを介した光が不十分な開口数で投影光学系PLに入射することになる。そこで、本実施形態の検査装置は、投影光学系PLの物体側開口数NA<sub>p</sub>以上の開口数NA<sub>i</sub>で開口部10aを照明(インコヒーレント照明)するために、図1に示すように、照明系(1~9)とテストマスクTMとの間の光路中に挿脱自在に配置されて光束を拡散するためのレモンスキン板16を備えている。

【0067】図6は、レモンスキン板に平行光束が入射したときの散乱特性を示す図である。また、図7は、レモンスキン板を設置しないときにテストマスクへ入射する光束の照明NA内の輝度分布とレモンスキン板を設置したときにテストマスクへ入射する光束の照明NA内の輝度分布とを比較する図である。図6および図7を参照すると、照明系(1~9)からの光束の開口数を拡大するためにレモンスキン板16を設置すると、照明光束の輝度特性が悪化することがわかる。そこで、本実施形態では、照明系(1~9)の照明光路中に、たとえば二次光源が形成される開口絞り8の近傍に挿脱自在に配置されて所定の光強度分布の光束を形成するための濃度フィルタ17を備えている。

【0068】ここで、図6に示すような正規分布形状の散乱特性を有するレモンスキン板16に対して、図8に示すような逆正規分布形状の透過率分布を濃度フィルタ17に付与することにより、レモンスキン板16により悪化する照明光束の輝度特性をほぼ均一化することができる。あるいは、開口絞り8に代えて輪帯状の開口部を有する輪帯開口絞りを設置して二次光源を輪帯状に制限することにより、図9に示すように、レモンスキン板16により悪化する照明光束の輝度特性をほぼ均一化することもできる。もちろん、濃度フィルタ17の設置と輪

帯状の開口部を有する輪帯開口絞り8aの設置とを併用することもできる。

【0069】以上のように、レモンスキン板16および濃度フィルタ17（必要に応じて輪帯開口絞り8a）は、照明系（1～9）からの光束の開口数を拡大するための開口数拡大手段を構成している。そして、レモンスキン板16は、照明系（1～9）とテストマスクTMとの間の光路中に挿脱自在に配置されて光束を拡散するための拡散光学部材を構成している。また、濃度フィルタ17（必要に応じて輪帯開口絞り8a）は、レモンスキン板16により悪化する照明光束の輝度特性を均一化するための輝度特性均一化手段を構成している。レモンスキン板16の設置に代えて、テストマスクTMの上側面をレモンスキン加工することもできる。

【0070】一般に、レモンスキン板の散乱特性は、レモンスキン板を作る際の砥石の面あざと、表面を酸で化学処理する際の加工時間の差とにより、ある程度変化させることができる。なお、レモンスキン板16に代えて、現在技術進歩の著しいDOE（回折光学素子：ディフラクティブ・オプティクス・エレメント）を使用し、開口数の拡大された光束の照明NA内の輝度特性をほぼ均一に維持することも可能である。DOEは、通常ガラスプレート上にホトリソグラフィで回折パターンを形成することにより構成され、散乱光の輝度特性を一定角度までほぼ均一にするような特性を有するDOEも開発されている。したがって、拡散光学部材としてDOEを使用する場合には、濃度フィルタ17の設置や輪帯状の開口部を有する輪帯開口絞り8aの設置を省略することもできる。なお、近年において、露光装置の照明系から供給される照明光の開口数は大きくなる傾向にある。ここで、露光装置の照明系から供給される照明光の開口数が投影光学系PLの物体側開口数よりも十分に大きく設定されている場合（例えば $\sigma \geq 1$ である場合）には、開口数拡大手段としてのレモンスキン板16を用いることなく測定を行うことも可能である。

【0071】本実施形態では、上述したように、投影光学系PLの物体側開口数NAp以上の開口数NAiで開口部10aを照明する。この場合、図10に示すように、収差測定系のマイクロフライアイ14の各微小レンズ14a毎に互いに独立な多数の結像光学系が存在すると思えることが可能である。各結像光学系は、各微小レンズ14aの大きさに相当する波面収差の一部分の影響を受けて開口部10aの像をそれぞれインコヒーレント結像することになる。このとき、収差測定系は、図11に示すように、標示板11の校正用開口部11bの中央に開口部10aの像10iが形成されるように設定される。すなわち、校正用開口部11bは、投影光学系PLを介して形成される開口部10aの像10iよりも実質的に大きく設定されている。

【0072】結像論から考察して、波面収差にチルト成

分（傾き成分）がある場合には、各微小レンズ14aを介して形成される像が位置シフトすることは自明である。すなわち、平均的な波面傾き量に対して、像の位置ズレが発生することになる。換言すると、各結像光学系毎に、部分的な波面傾き量に応じた像の位置ズレがそれぞれ発生することになる。このときの各像の状態は、極小ピンホールを用いて発生させた球面波に基づいて形成される従来の点像の状態と同じである。したがって、従来技術と同様の信号処理によって波面収差の測定が可能となる。

【0073】具体的には、投影光学系PLに波面収差が残存していない場合、開口部10aの各像の光量重心位置は測定用の各原点位置に形成される。後述するように、収差測定系に波面収差などに起因する誤差がない場合、測定用の各原点位置は、マイクロフライアイ14の各微小レンズ14aの光軸上に設定される。実際には、投影光学系PLに波面収差が残存しているため、開口部10aの各像の光量重心位置は測定用の各原点位置から位置ずれする。したがって、本実施形態では、CCD15の出力に含まれる上述の位置ずれ情報に基づいて、投影光学系PLの波面収差を測定することになる。

【0074】ただし、本実施形態では、CCD15において解像可能な大きさの開口部10aを結像させる方式であるため、開口部10aを従来のように極小ピンホールとして形成して球面波を発生させる必要はない。すなわち、従来技術では正確な球面波を発生させるために真円度の高い極小のピンホールを形成する必要があるが、本実施形態では開口部10aの形状は円形状に限定されることがない。また、開口部10aからCCD15までの光路における透過率は収差測定系を構成する光学部材の透過率に依存して決定され、極小ピンホールを用いる従来技術の場合のような回折による輝度の劣化は起こらない。その結果、撮像素子であるCCD15に対して、極小ピンホールを用いる従来技術の場合に比して著しく大きな照度を提供することが可能となる。

【0075】以下、本実施形態の検査装置を用いて投影光学系PLの波面収差を測定する動作について説明する。本実施形態では、上述したように、収差測定系（12～15）に一体的に取り付けられた標示板11が設けられている。そして、標示板11の基準平面11a上には、クロム膜などをエッチングすることによりアライメントマーク11cが形成されているとともに、必要十分な面精度で加工された反射面11dが形成されている。したがって、露光装置に搭載された前述のFIA系を用いて、アライメントマーク11cに基づいて、XY平面に沿った標示板11の位置を、ひいてはXY平面に沿った収差測定系の位置を検出することができる。

【0076】また、露光装置に搭載された前述の斜入射式の二次元AF系を用いて、反射面11dへ斜め方向から光束を入射させ反射面11dで反射された光束に基づ

いて、Z方向に沿った標示板11の面位置を、ひいては収差測定系のZ方向位置、X軸周りの傾き、およびY軸周りの傾きを検出することができる。さらに、露光装置に搭載された前述のウェハ干渉計WIFおよびウェハステージ駆動部の作用により、ウェハWと同じ程度に高精度なアライメント（位置合わせ）および位置制御を迅速に行うことができる。

【0077】被検光学系である投影光学系PLに対して収差測定系がX方向、Y方向、Z方向などに位置ずれしていると、チルト成分やデフォーカス成分のような低次の波面収差成分が大きく発生する。そこで、波面収差を測定するために、収差測定系の位置ずれを波面収差測定ストローク内に追いつく必要がある。さらに、波面収差の測定精度を向上させるために、上述のような低次の波面収差成分をできるだけ追いついた状態で波面収差の測定をすることが望ましい。標示板11を設置することにより、収差測定系の正確で迅速な位置制御が可能になり、上述の追いつき動作が容易になる。その結果、投影光学系PLのフォーカス面の絶対位置計測やディストーションの絶対値計測精度を向上させることができる。

【0078】具体的には、ウェハステージWSを駆動して、収差測定系を投影光学系PLの露光視野領域内へ、ひいては二次元AF系の検出視野領域内へ移動させる。その状態で、二次元AF系を用いて、投影光学系PLの像面に対して標示板11の基準平面11aを位置合わせする。すなわち、標示板11の基準平面11aのZ方向に沿った位置、X軸周りの傾き、およびY軸周りの傾きを検出し、基準平面11aが投影光学系PLの像面にほぼ一致するようにアライメント調整する。次に、ウェハステージWSをXY平面に沿って駆動して、収差測定系をFIA系の検出視野領域内へ移動させる。そして、FIA系を用いて、標示板11上のアライメントマーク11cを位置検出することにより、収差測定系の光軸AX1のXY平面に沿った位置を検出する。

【0079】なお、標示板11上のアライメントマーク11cと収差測定系の光軸AX1との間の位置関係情報は、通常のウェハアライメントと同様に、予め制御ソフトにデータとして認識されている。また、アライメントマーク11cが複数組あるので、EGA（エンハンスド・グローバル・アライメント）により、すなわち複数データの平均化効果により、さらに高精度な位置検出が可能となる。こうして、テストマスクTMに設けられた複数の開口部のうち、恣意的に選択された第1番目の開口部10aの像が投影光学系PLを介して形成される位置に対して、収差測定系を初期的に位置決めする。

【0080】すなわち、収差測定系が初期的に正確に位置決めされた状態において、投影光学系PLを介して形成された第1番目の開口部10aの像の中心点と収差測定系の光軸AX1とがXY平面内において一致する。すなわち、図11に示すように、開口部10aの像10i

の中心点と標示板11の校正用開口部11bの中心点とがXY平面内において一致する。この初期状態において、CCD15の出力に基づいて投影光学系PLの波面収差を測定する。この測定結果から、チルト成分、パワー成分（デフォーカス成分）、および非点隔差成分（アス成分）を求め、チルト成分からディストーションの絶対値を、パワー成分からフォーカス面（像面）の絶対位置を、非点隔差成分から像面隔差をそれぞれ求めることができる。

【0081】次に、チルト成分およびパワー成分ができるだけ小さくなるように、収差測定系を微動させる。このときの収差測定系のX方向の微動量 $\Delta x$ およびY方向の微動量 $\Delta y$ に基づいてディストーションの絶対値を、収差測定系のZ方向の微動量 $\Delta z$ に基づいてフォーカス面の絶対位置をそれぞれ求めることもできる。こうして、チルト成分およびパワー成分をできるだけ小さく追いついた状態で、CCD15の出力に基づいて投影光学系PLの波面収差を最終的に高精度に測定する。

【0082】上述の波面収差の測定動作は、テストマスクTMに設けられた残りの複数の開口部について同様に順次行われる。このように、標示板11を用いてテストマスクTMの第1番目の開口部に対する収差測定系の位置設定が終了した後は、露光装置の本来の焼き付け動作と同様に、二次元AF系で標示板11の高さ位置を常に位置合わせすると共に、ウェハ干渉計WIFの出力情報に基づいてウェハステージWSのXY平面に沿った位置を制御して、投影光学系PLの任意座標位置での波面収差の測定（すなわちテストマスクTMの残りの複数の開口部に対する波面収差の測定）を実施することができる。

【0083】上述のように、本実施形態では、収差測定系の初期的な測定結果であるチルト成分やパワー成分に基づいて所望の値だけ収差測定系を微動させ、チルト成分やパワー成分が小さくなるように追いつくことが可能である。この機能により、高速な位置制御に基づく高精度な波面収差の測定が可能になる。なお、投影光学系PLの波面収差の測定は、投影光学系PLの初期的な調整・検査時のみならず、その後の点検時にも行われる。点検時における波面収差の測定は、露光装置の本来の目的であるデバイスの製造を一次的に止めて行われるので、作業の迅速性が要求される。この場合、本実施形態の位置制御の容易性および迅速性は非常に重要な要素となる。

【0084】ところで、露光装置に搭載された投影光学系PLの波面収差を正確に測定するには、収差測定系自体で発生する波面収差などの影響をどのように処理するかが問題となる。本実施形態の収差測定系には、コリメートレンズ12、リレーレンズ13、マイクロファイバ14、CCD15、ミラー（図1参照）などの光学部材が用いられている。これらの光学部材の製造誤差は、

投影光学系 P L の波面収差の測定時にその測定値に上乘せられる。収差測定系自体で発生する波面収差などの測定値への影響を小さく抑えるには、収差測定系を構成する各光学部材の公差を非常に厳しく設定し、被検光学系である投影光学系 P L の波面収差発生量に比して収差測定系の波面収差発生量を十分に小さく抑える方法、あるいは収差測定系自体で発生する波面収差などの影響を予め把握して測定値を補正する方法が考えられる。

【0085】本実施形態のように、被検光学系が露光装置に搭載される投影光学系 P L の場合、投影光学系 P L に比して収差測定系の波面収差発生量を十分に小さく抑えることは現実的に不可能に近い。なぜなら、露光装置の投影光学系 P L に残存している波面収差量が元々非常に小さい値に抑えられているからである。一方、収差測定系を構成するレンズ部品やミラー部品の面精度を厳しく設定するためには、光学材料（光学ガラス）自体の均一性を向上させたり、面精度を測定する干渉計の絶対値精度を向上させなければならない。

【0086】干渉計の精度を向上させるためには、干渉計を構成するフィゾーレンズや参照球面ミラー等の部品レベルでの精度の向上および誤差の把握が必要となる。面精度を向上させるための研磨機自体にも更に厳しい精度が要求され、場合によっては部分的に面精度を補正する部分修正研磨技術なども適用しなければならない。このように列挙していくと、収差測定系自体の波面収差発生量を投影光学系 P L に比して十分に小さく抑えることがいかに困難であるかがわかる。したがって、収差測定系自体の波面収差発生量がある程度許容できる範囲に抑え、収差測定系の誤差に基づいて測定値を補正すること、すなわち収差測定系について自己キャリブレーションを行うことにより収差測定系自体で発生する波面収差などの影響を補正するのが望ましいことがわかる。

【0087】以下、図 12 を参照して、本実施形態における収差測定系の自己キャリブレーションの手順を説明する。まず、収差測定系の自己キャリブレーションに際して、テストマスク T M の正形状の開口部 10 b（図 3 参照）の像が投影光学系 P L を介して形成される位置に収差測定系を位置決めする。この状態で、照明系（1～9）からの照明光が、投影光学系 P L を介して、標示板 11 の校正用開口部 11 b を照明することになる。ここで、投影光学系 P L を介して標示板 11 上に形成される照明領域（開口部 10 b の像）は、校正用開口部 11 b よりも実質的に大きい。

【0088】こうして、校正用開口部 11 b からの光が、コリメートレンズ 12、リレーレンズ 13 およびマイクロフライアイ 14 を介して、CCD 15 の受光面上に校正用開口部 11 b の多数の像を形成する。設計値では、校正用開口部 11 b の各像が、マイクロフライアイ 14 の各微小レンズ 14 a の光軸上に整然と並んで形成されるはずである。しかしながら、収差測定系の波面収

差、マイクロフライアイ 14 の製造誤差、CCD 15 の受光素子の配列誤差等により、実際に測定される各開口部像の光量重心位置は設計上仮定した理想位置から位置ずれしてしまう。

【0089】ここで、発生した各開口部像の位置ずれは、収差測定系にのみ起因するものであって、投影光学系 P L の波面収差などの影響を受けていない。なぜなら、図 12 の自己キャリブレーション状態において、投影光学系 P L は、照明系と収差測定系との間の光路中に配置された照明リレー光学系の機能を果たしているに過ぎないからである。そこで、本実施形態では、自己キャリブレーションで得られた各開口部像の位置を測定用の各原点に設定する。そして、設定した測定用の各原点に基づいて波面収差の測定を行うことにより、収差測定系自体が発生する波面収差などの誤差が投影光学系 P L の測定結果に実質的に影響することなく、精度の高い波面収差測定を行うことができる。なお、本実施形態では、校正用開口部 11 b が収差測定系に一体的に取り付けられた標示板 11 上に形成されているので、自己キャリブレーション用の開口部をキャリブレーションの度に設置する方法と比べて、開口部の位置ずれに起因する誤差は発生しない。

【0090】また、被検光学系の波面収差の測定に際して発生する誤差として、実際に波面収差を測定する測定時における環境と自己キャリブレーション時における環境との違いによる誤差が考えられる。具体的には、波長の変動に起因する誤差、温度の変動に起因する誤差、気圧の変動に起因する誤差等が挙げられる。これらの環境変動は、すべて収差測定系の測定誤差の原因となるが、主に影響を受ける成分は 3 次収差以下の低次収差（幾何光学でいうザイデルの 5 収差までの収差）である。

【0091】ここで、波長の変動に起因する誤差、および気圧の変動に起因する誤差は収差測定系に影響を与えるが、その誤差の発生量はほぼ設計値通りであって、ソフト的に予想可能であると考えられる。したがって、自己キャリブレーション時に所定の気圧および所定の波長における誤差を測定し、測定した誤差に基づいて気圧の変動および波長の変動に起因する誤差の変化を予測することができる。具体的には、測定時における実際の気圧および波長と自己キャリブレーション時における気圧および波長との間の変動量を求め、求めた変動量および自己キャリブレーション時における発生誤差量に基づいて、実際の測定時における発生誤差量を求めることが可能である。

【0092】一方、温度の変動に起因する誤差に関しては、自己キャリブレーション時に複数の温度条件の元で発生する誤差を測定し、測定した複数の誤差に基づいて温度の変動に起因する誤差の変化を予測することができる。具体的には、測定時における実際の温度と自己キャリブレーション時における複数の測定温度のうち実際の

温度に最も近い測定温度との間の変動量を求め、求めた変動量および自己キャリブレーション時における発生誤差量に基づいて、内挿法（あるいは外挿法）により実際の測定時における発生誤差量を求めることが可能である。

【0093】なお、図12の自己キャリブレーション状態において、校正用開口部11bに対するインコヒーレント照明の条件を満たすために、投影光学系PLの瞳に配置された開口絞りASの可変開口部の径を必要以上に（たとえば最大限に）拡大するとともに、テストマスクTMの開口部10bを投影光学系PLの光軸AXの近傍に設定することが望ましい。また、投影光学系PLと標示板11との間の光路中にレモンスキン板18のような拡散光学部材を設置することが望ましい。

【0094】しかしながら、事前に自己キャリブレーションが行われており、波長や気圧や温度の変動に起因する誤差のみを補正したいときには、誤差量が低次収差のみで且つ小さいことから、インコヒーレント照明の条件を必ずしも満たす必要はない。インコヒーレント照明の条件を満たさない場合、マイクロフライアイ14の周辺部の微小レンズには光が入射しないが、中央部の微小レンズを介して形成される像の位置ずれに基づいて誤差の補正が可能となる。つまり、事前に自己キャリブレーションを行って各原点位置を求めておき、ある程度の測定精度で随時測定可能に設定しておき、その後の実測定前のキャリブレーションでは各原点位置にオフセットを加えてもよい。このように、自己キャリブレーションによる補正方法は種々考えられるが、収差測定系自体で発生する波面収差などの影響を補正することには変わりはない。

【0095】こうして、上述の実施形態にかかる露光装置では、自己キャリブレーションにより収差測定系（1～9）の誤差を測定する（誤差測定工程）。測定された誤差は、たとえばCCD15に接続された信号処理ユニット19（図2および図10参照）のメモリ部に記憶される。そして、収差測定系を用いて被検光学系としての投影光学系PLの波面収差を測定し（収差測定工程）、自己キャリブレーションで測定した誤差情報に基づいて、投影光学系PLの波面収差測定値を補正する（補正工程）。こうして、補正された投影光学系PLの波面収差に基づいて、投影光学系PLを調整する（調整工程）。投影光学系PLの調整に際して、たとえばレンズを微動させたり、レンズ間の圧力を制御したり、収差補正用の光学部材を挿入したりする。

【0096】次いで、照明系によってマスクを照明し（照明工程）、投影光学系を用いてマスクに形成された転写用のパターンを感光性基板に走査露光する（露光工程）ことにより、マイクロデバイス（半導体素子、撮像素子、液晶表示素子、薄膜磁気ヘッド等）を製造することができる。以下、図1に示す本実施形態の露光装置を

用いて感光性基板としてのウェハ等に所定の回路パターンを形成することによって、マイクロデバイスとしての半導体デバイスを得る際の手法の一例につき図13のフローチャートを参照して説明する。

【0097】まず、図13のステップ301において、1ロットのウェハ上に金属膜が蒸着される。次のステップ302において、その1ロットのウェハ上の金属膜上にフォトリソグが塗布される。その後、ステップ303において、図1に示す露光装置を用いて、マスク上のパターンの像がその投影光学系（投影光学モジュール）を介して、その1ロットのウェハ上の各ショット領域に順次露光転写される。その後、ステップ304において、その1ロットのウェハ上のフォトリソグの現像が行われた後、ステップ305において、その1ロットのウェハ上でレジストパターンをマスクとしてエッチングを行うことによって、マスク上のパターンに対応する回路パターンが、各ウェハ上の各ショット領域に形成される。その後、更に上のレイヤの回路パターンの形成等を行うことによって、半導体素子等のデバイスが製造される。上述の半導体デバイス製造方法によれば、極めて微細な回路パターンを有する半導体デバイスをスループット良く得ることができる。

【0098】また、図1に示す露光装置では、プレート（ガラス基板）上に所定のパターン（回路パターン、電極パターン等）を形成することによって、マイクロデバイスとしての液晶表示素子を得ることもできる。以下、図14のフローチャートを参照して、このときの手法の一例につき説明する。図14において、パターン形成工程401では、各実施形態の露光装置を用いてマスクのパターンを感光性基板（レジストが塗布されたガラス基板等）に転写露光する、所謂光リソグラフィ工程が実行される。この光リソグラフィ工程によって、感光性基板上には多数の電極等を含む所定パターンが形成される。その後、露光された基板は、現像工程、エッチング工程、レチクル剥離工程等の各工程を経ることによって、基板上に所定のパターンが形成され、次のカラーフィルター形成工程402へ移行する。

【0099】次に、カラーフィルター形成工程402では、R（Red）、G（Green）、B（Blue）に対応した3つのドットの組がマトリックス状に多数配列されたり、またはR、G、Bの3本のストライプのフィルターの組を複数水平走査線方向に配列したカラーフィルターを形成する。そして、カラーフィルター形成工程402の後に、セル組み立て工程403が実行される。セル組み立て工程403では、パターン形成工程401にて得られた所定パターンを有する基板、およびカラーフィルター形成工程402にて得られたカラーフィルター等を用いて液晶パネル（液晶セル）を組み立てる。セル組み立て工程403では、例えば、パターン形成工程401にて得られた所定パターンを有する基板とカラーフィルター



形成工程 402 にて得られたカラーフィルターとの間に液晶を注入して、液晶パネル（液晶セル）を製造する。

【0100】その後、モジュール組み立て工程 404 にて、組み立てられた液晶パネル（液晶セル）の表示動作を行わせる電気回路、バックライト等の各部品を取り付けて液晶表示素子として完成させる。上述の液晶表示素子の製造方法によれば、極めて微細な回路パターンを有する液晶表示素子をスループット良く得ることができる。

【0101】なお、上述の実施形態において、193 nm の波長の光を供給する ArF エキシマレーザー光源や 157 nm の波長の光を供給する F<sub>2</sub> レーザー光源などを用いる場合、酸素による光吸収を回避するために、光源から感光性基板までの光路および収差測定系中の光路が窒素やヘリウムなどの不活性ガスで満たされることになる。この場合、汚れた空気に触れることにより収差測定系中のレンズ面に曇りが発生することのないように、たとえば不活性ガスで満たされた袋または容器に収差測定系を収容して輸送することが好ましい。

【0102】また、上述の実施形態では、エキシマレーザー光源を備えた露光装置に本発明を適用しているが、これに限定されることなく、図 15 に示すように、たとえば超高圧水銀ランプを光源とする露光装置に本発明を適用することもできる。この場合、図 15 に示す変形例にかかる露光装置において、たとえば i 線の輝線を含む光を供給する超高圧水銀ランプ 51 が、光軸 AX に関して回転対称な楕円反射面を有する楕円鏡 52 の第 1 焦点位置に位置決めされている。したがって、光源 51 から射出された照明光束は、楕円鏡 52 の第 2 焦点位置に光源像を形成する。

【0103】楕円鏡 52 の第 2 焦点位置に形成された光源像からの発散光束は、反射ミラー 53 で偏向され、コリメートレンズ 54 によりほぼ平行光束に変換された後、波長選択フィルター（不図示）を介して、波面分割型のオプティカルインテグレータであるフライアイレンズ 7 に入射する。以下、フライアイレンズ 7 以降の構成は、図 1 の実施形態と同様である。なお、波長選択フィルターでは、たとえば i 線の光（365 nm）だけが露光光として選択される。あるいは、たとえば g 線（436 nm）の光と h 線（405 nm）と i 線の光とを同時に選択することもできるし、g 線の光と h 線の光とを同時に選択することもできるし、h 線の光と i 線の光とを同時に選択することもできる。

【0104】さらに、上述の実施形態では、露光装置に組み込まれた検査装置に本発明を適用しているが、図 16 に示すように、たとえばウェハステージと類似の専用ステージを有する検査装置に本発明を適用することもできる。この場合、図 16 に示す変形例にかかる検査装置は、図 1 の露光装置の照明系と同じ構成を有する照明系と、図 1 の露光装置のウェハステージと類似の構成を有

する専用ステージ SS とを備えているが、FIA 系および斜入射方式の AF 系を備えていない。これらのアライメント系に代えて、専用ステージ SS は、その Y 方向の移動量を計測するための第 1 干渉計 IF1 と、X 方向の移動量を計測するための一対の第 2 干渉計 IF2 および第 3 干渉計 IF3 とを備えている。図 16 に示す変形例にかかる検査装置では、露光装置に搭載すべき投影光学系 PL や他の適当な被検光学系 SL の波面収差が測定される。

【0105】ところで、図 16 に示す変形例にかかる検査装置では、図 1 の露光装置の照明系と同じ構成を有する照明系を用いているが、図 17 に示すように専用の照明ユニットを有する検査装置に本発明を適用することもできる。この場合、図 17 に示す変形例にかかる検査装置では、光源（不図示）からの光がライトガイド 61 によって伝播された後、コンデンサーレンズ 62 を介して、テストマスク TM の開口部を照明する。なお、ライトガイド 61 の射出端およびコンデンサーレンズ 62 は、支持体 63 によって一体的に支持されている。

【0106】ここで、照明ユニット（61～63）は、露光装置に搭載すべき投影光学系 PL や他の適当な被検光学系 SL の物体側開口数以上の開口数でテストマスク TM を照明するように構成されている。なお、照明ユニット（61～63）がテストマスク TM 上に形成する照明領域の大きさが充分でない場合には、支持体 63 を XY 平面に沿って二次元的に移動させ、テストマスク TM の複数の開口部を順次照明しながら、投影光学系 PL または被検光学系 SL の波面収差を測定することになる。

【0107】また、上述の実施形態では、露光装置の照明系を用いるとともに投影光学系 PL を照明リレー光学系として機能させて収差測定系の自己キャリブレーションを行っているが、図 18 に示すように、図 17 に示す変形例の照明ユニットと類似の専用照明ユニットを用いて自己キャリブレーションを行うこともできる。すなわち、図 18 に示す変形例では、光源（不図示）からの光がライトガイド 61 によって伝播された後、コンデンサーレンズ 62 を介して、標示板 11 の校正用開口部 11b を照明する。このとき、照明ユニット（61、62）は、収差測定系の物体側開口数以上の開口数で標示板 11 を照明するように構成されている。こうして、上述の実施形態と同様に、収差測定系の誤差を測定することができる。

【0108】ところで、図 18 に示す変形例では、専用の照明ユニットを用いて収差測定系の自己キャリブレーションを行っているが、図 19 に示すように、図 1 の実施形態の照明系と照明リレー光学系とを用いて自己キャリブレーションを行うこともできる。すなわち、図 19 に示す変形例では、図 1 の実施形態の照明系と同じ構成を有する照明系からの光が、照明リレー光学系 71 を介して、標示板 11 の校正用開口部 11b を照明する。こ

のとき、照明リレー光学系71は、収差測定系の物体側開口数以上の開口数で標示板11を照明するように構成されている。こうして、上述の実施形態と同様に、収差測定系の誤差を測定することができる。

【0109】さらに、上述の実施形態では、標示板11の中央に形成された校正用開口部11bの像をCCD15の受光面上に形成させることによって収差測定系の自己キャリブレーションを行っているが、図20に示すように、極小ピンホールを介して発生させた球面波に基づいて自己キャリブレーションを行うこともできる。すなわち、図20に示す変形例では、CCD15の受光面と光学的に共役な位置に、極小ピンホールが形成された工具81を位置決めする。

【0110】したがって、図20に示す変形例の場合、CCD15の受光面と光学的に共役な面と標示板11の基準平面11aとの間には所定の間隙（ギャップ）が形成されることになる。この状態で工具81を照明すると、その極小ピンホールから発生した球面波が、コリメートレンズ12、リレーレンズ13、およびマイクロフライアイ14を介して、CCD15の受光面に極小ピンホールの像（集光点）を多数形成する。こうして、上述の実施形態と同様に、収差測定系の誤差を測定することができる。

【0111】ところで、図21に示すように、図1の露光装置に対して、図20に示す変形例を適用することもできる。この場合、収差測定系の自己キャリブレーションに際して、極小ピンホールが形成されたテストマスクTMが設置される。この状態で照明系（1～9）がテストマスクTMを照明すると、その極小ピンホールから発生した球面波が、投影光学系PL、コリメートレンズ12、リレーレンズ13、およびマイクロフライアイ14を介して、CCD15の受光面に極小ピンホールの像（集光点）を多数形成する。こうして、上述の実施形態と同様に、たとえば環境の変動に起因する収差測定系の誤差の変化などを測定することができる。

#### 【0112】

【発明の効果】以上説明したように、本発明では、被検光学系の物体側開口数以上の開口数で被検光学系の物体面に位置決めされた開口部を照明（インコヒーレント照明）し、被検光学系の像面に形成された開口部の一次像からの光を波面分割して、たとえばCCDのような光電検出部の受光面上に開口部の二次像を多数形成する方式を採用している。その結果、本発明では、球面波を発生させるための極小ピンホールを用いることなく、十分な測定光量に基づいて高精度な収差測定を行うことができる。

【0113】また、本発明では、被検光学系の波面収差を測定するための収差測定系に一体的に取り付けられた標示板と、この標示板の位置を検出するための位置検出系とを備えている。この標示板には、たとえばアライメ

ントマークおよび反射面が形成されているので、アライメントマークや反射面を利用して、収差測定系の位置を迅速に且つ高精度に検出することができる。その結果、本発明では、収差測定系の初期的な位置設定および位置制御を迅速に且つ高精度に行うことができ、ひいては迅速で且つ正確な収差測定を行うことができる。

【0114】さらに、本発明では、上述の標示板に校正用の開口部が形成されているので、この校正用開口部を照明することにより、CCDの受光面上に多数の像が形成される。設計値では、校正用開口部の各像が整然と並んで形成されるはずであるが、収差測定系の波面収差などの影響により、実際に測定される各開口部像の光量重心位置は設計上仮定した理想位置から位置ずれしてしまう。そこで、本発明では、上述の自己キャリブレーションで得られた各開口部像の位置を測定用の各原点に設定する。その結果、設定した測定用の各原点に基づいて波面収差の測定を行うことにより、収差測定系自体が発生する波面収差などの誤差が被検光学系の測定結果に実質的に影響することなく、精度の高い波面収差測定を行うことができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施形態にかかる検査装置を備えた露光装置の構成を概略的に示す図である。

【図2】図1の検査装置の要部構成を概略的に示す図であって、収差測定系をその光軸に沿って展開した状態を示す図である。

【図3】投影光学系の波面収差の測定に際してテストマスク上に設置されるテストマスクの構成を概略的に示す図である。

【図4】収差測定系に一体的に取り付けられた標示板の構成を概略的に示す図である。

【図5】収差測定系における波面分割素子としてのマイクロフライアイの構成を概略的に示す図である。

【図6】レモンスキン板に平行光束が入射したときの散乱特性を示す図である。

【図7】レモンスキン板を設置しないときにテストマスクへ入射する光束の照明NA内の輝度分布とレモンスキン板を設置したときにテストマスクへ入射する光束の照明NA内の輝度分布とを比較する図である。

【図8】濃度フィルタに付与された逆正規分布形状の透過率分布を示す図である。

【図9】輪帯開口絞りを介して二次光源を輪帯状に制限することによりレモンスキン板により悪化する照明光束の輝度特性をほぼ均一化される様子を示す図である。

【図10】収差測定系のマイクロフライアイの各微小レンズ毎に互いに独立な多数の結像光学系が存在する様子を示す図である。

【図11】標示板の校正用開口部の中央にテストマスクの開口部の像が形成されている様子を示す図である。

【図12】本実施形態における収差測定系の自己キャリ

レーションの手順を説明する図である。

【図13】マイクロデバイスとしての半導体デバイスを得る際の手法のフローチャートである。

【図14】マイクロデバイスとしての液晶表示素子を得る際の手法のフローチャートである。

【図15】超高圧水銀ランプを光源とする露光装置に本発明を適用した変形例を示す図である。

【図16】図1のウェハステージと類似の専用ステージを有する検査装置に本発明を適用した変形例を示す図である。

【図17】専用の照明ユニットを有する検査装置に本発明を適用した変形例を示す図である。

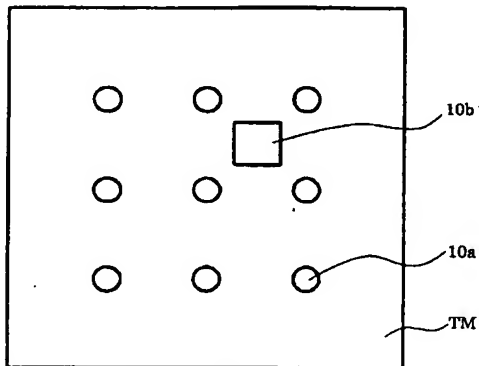
【図18】図17に示す変形例の照明ユニットと類似の専用照明ユニットを用いて自己キャリブレーションを行う変形例を示す図である。

【図19】図1の実施形態の照明系と照明リレー光学系とを用いて自己キャリブレーションを行う変形例を示す図である。

【図20】極小ピンホールを介して発生させた球面波に基づいて自己キャリブレーションを行う変形例を示す図である。

【図21】図1の露光装置に対して図20に示す変形例を適用して自己キャリブレーションを行う変形例を示す図である。

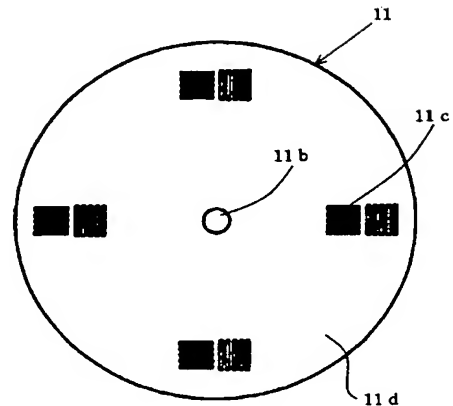
【図3】



## 【符号の説明】

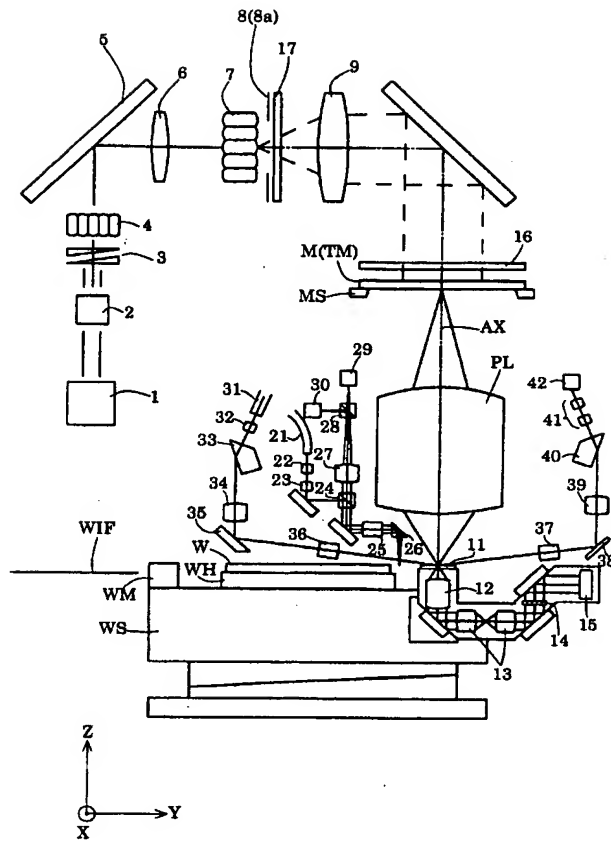
- 1 光源
- 2 ビーム整形光学系
- 3 干渉性低減部
- 4, 7 フライアイレンズ
- 5 振動ミラー
- 6 リレー光学系
- 8 開口絞り
- 9 コンデンサー光学系
- 10 11 標示板
- 12 コリメートレンズ
- 13 リレーレンズ
- 14 マイクロフライアイ
- 15 CCD
- 16, 18 レモンスキン板
- 17 濃度フィルタ
- 19 信号処理ユニット
- M マスク
- MS マスクステージ
- 20 TM テストマスク
- PL 投影光学系
- W ウェハ
- WS ウェハステージ

【図4】

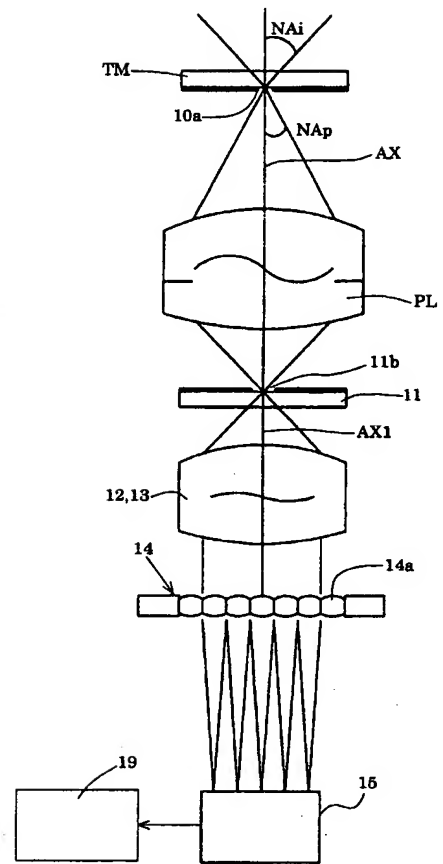




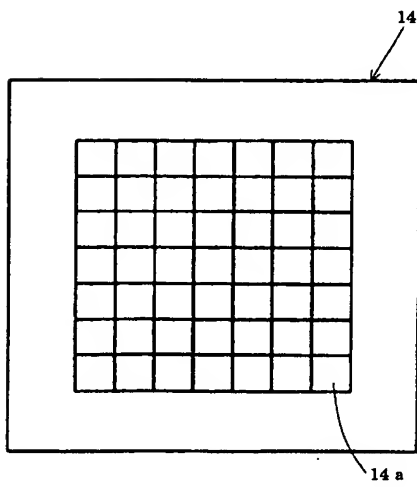
【図1】



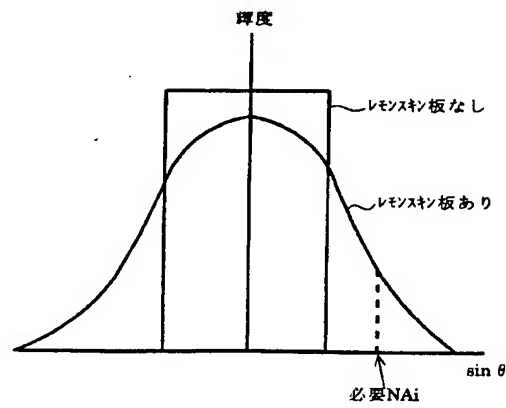
【図2】



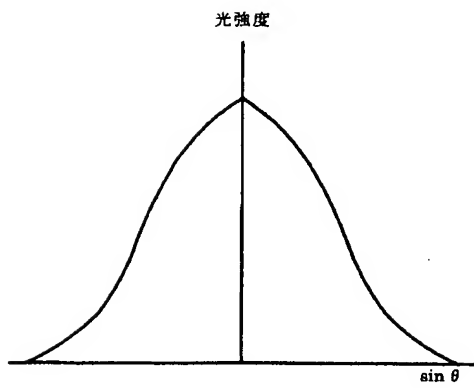
【図5】



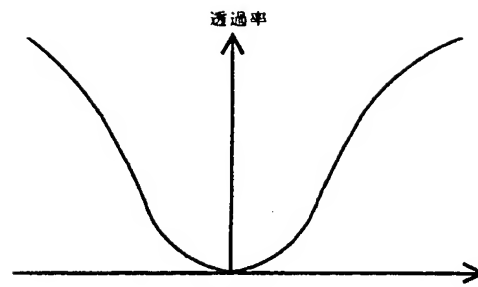
【図7】



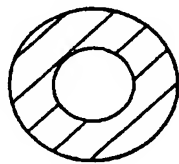
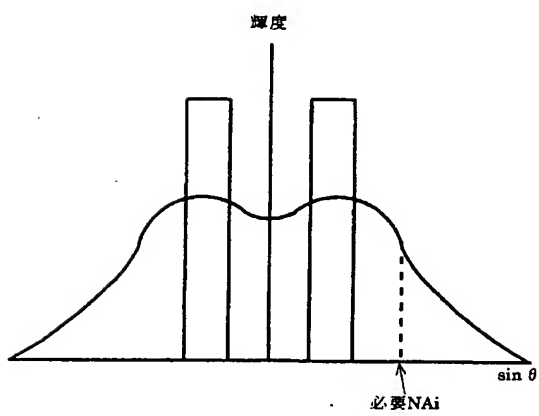
【図6】



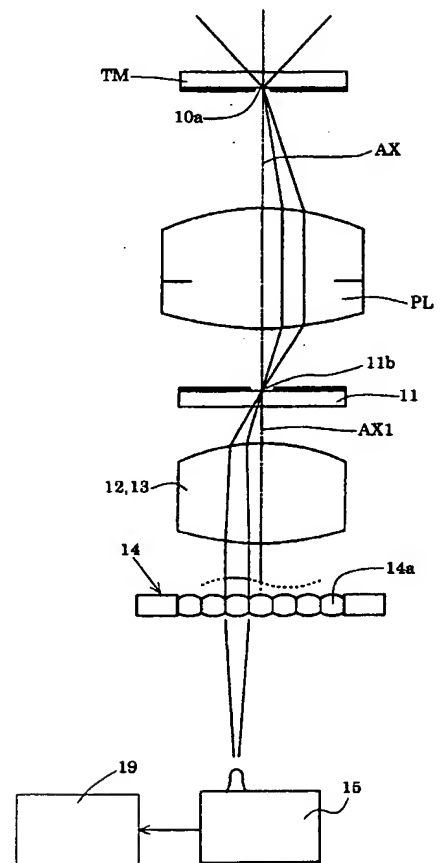
【図8】



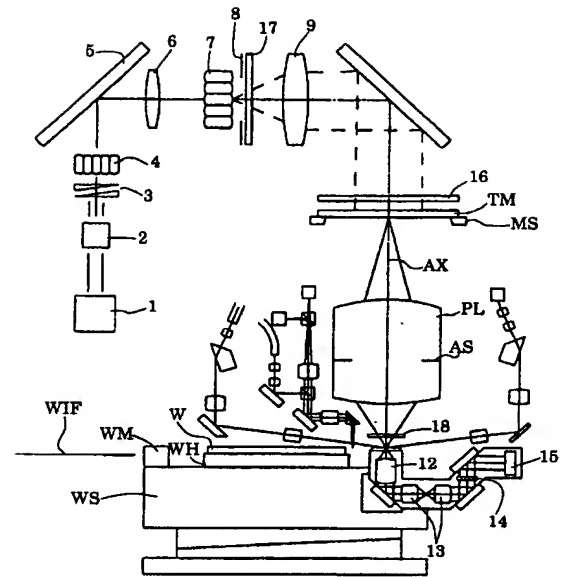
【図9】



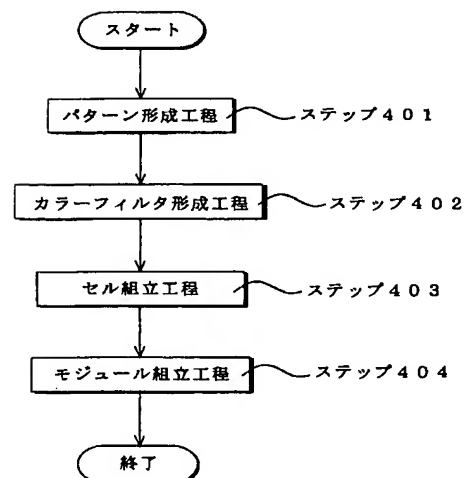
【図10】



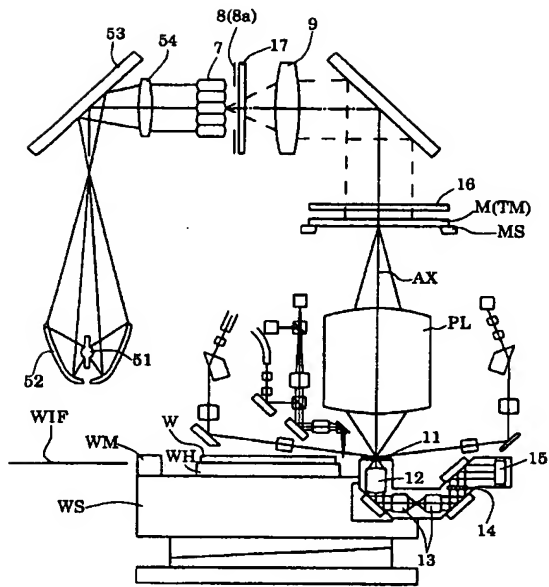
【图 1 2】



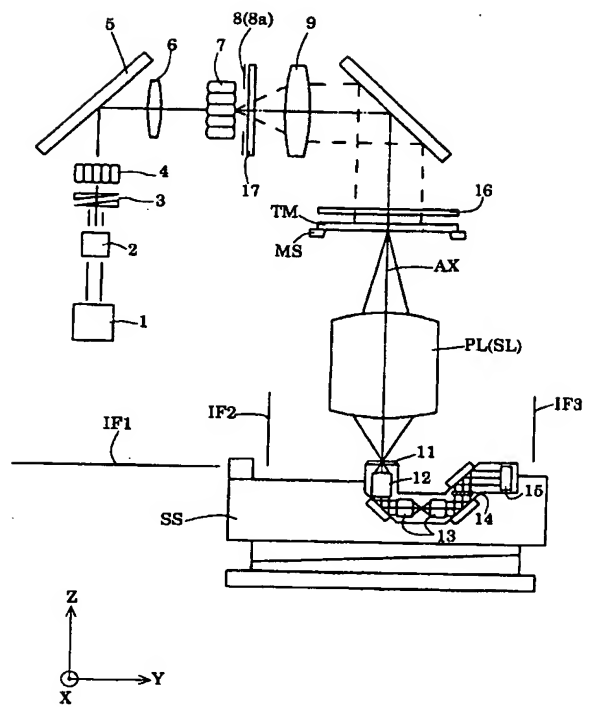
【图 1 4】



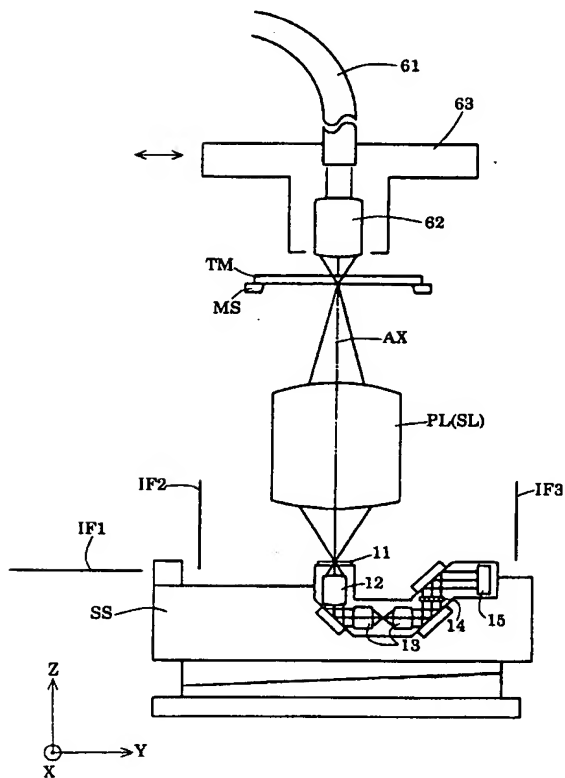
【図15】



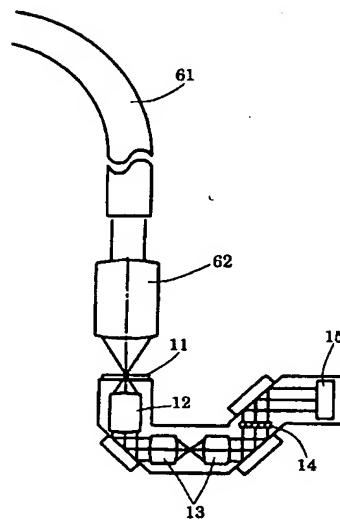
【図16】



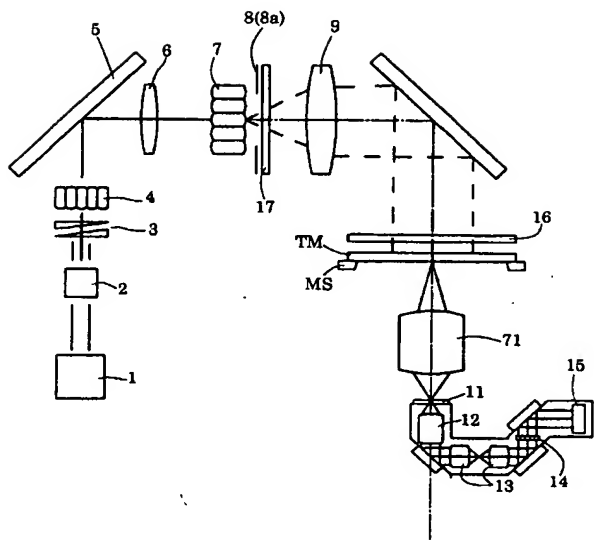
【図17】



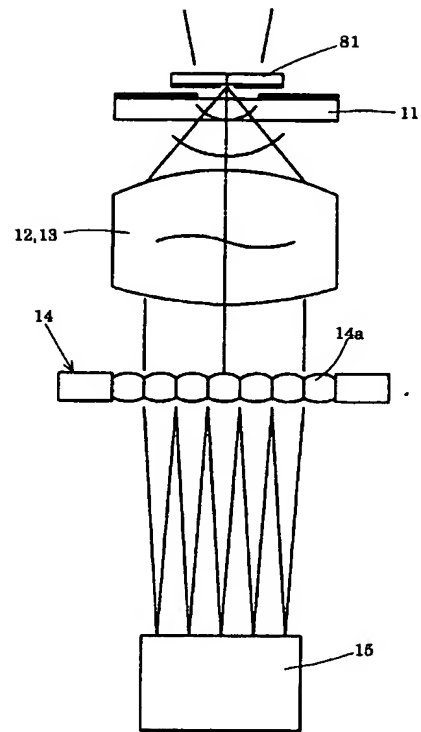
【図18】



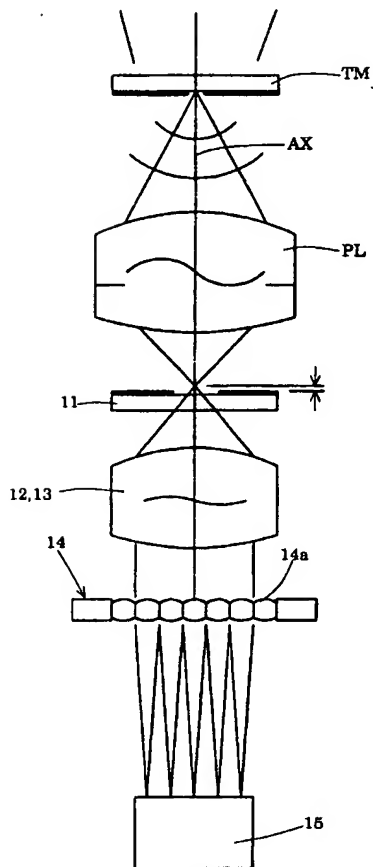
【図19】



【図20】



【図21】



フロントページの続き

F ターム(参考) 2F065 AA45 BB27 CC20 EE01 EE08  
FF04 FF67 FF69 GG04 HH13  
JJ26 LL04 LL10 LL25 LL30  
LL49 PP12 UU05 UU07  
2G086 HH06  
5F046 AA25 BA03 CB17 DA13 DB01  
DC12 EA03 EA09 EB03 EC05